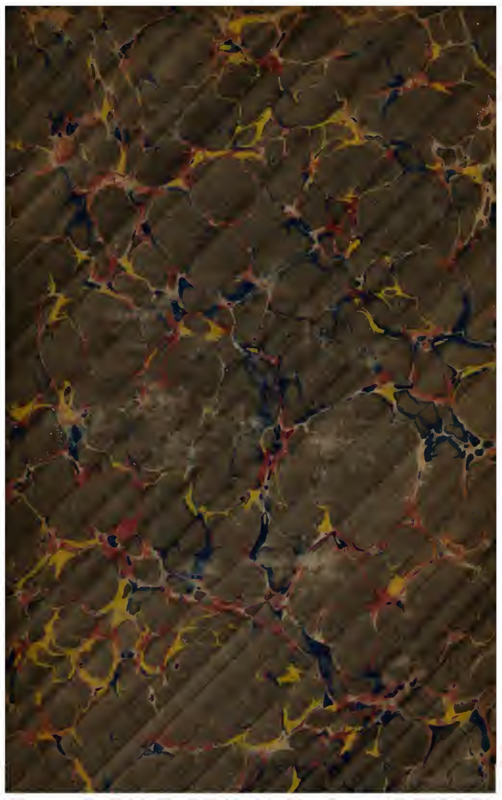


MÉMOIRE

SUR LES

MACHINES

A COLONNE D'EAU

DE LA MINE D'HUELGOAT,

CONCESSION DE POULLAOUEN (FINISTÈRE);

PAR M. JUNCKER,
Ingénieur des mines.

(*Extrait du Tome VIII des Annales des Mines.*)



PARIS,
CHEZ CARILIAN-GOEURY, LIBRAIRE-ÉDITEUR,
Quai des Augustins, n° 41.

1835.

PARIS. — IMPRIMERIE ET FONDERIE DE FAIN,
Rue Racine, n° 4, Place de l'Odéon.

RAPPORT

FAIT A L'ACADÉMIE DES SCIENCES

Sur un mémoire de M. Juncker, *ingénieur au corps royal des mines, concernant les machines à colonne d'eau de la mine d'Huelgoat, concession de Poullaouen* (Finistère).

(Commissaires MM. Navier, Poncelet, Arago rapporteur.)

« La mine de Huelgoat, partie de la concession de Poullaouen, renferme des sources excessivement abondantes. Leur eau est vitriolique; le gîte du minerai se trouve disposé de manière à rendre les opérations d'épuisement très-compliquées. Heureusement le pays est sillonné en tous sens par des vallons où coulent des ruisseaux qui, à l'aide de canaux de dérivation, ont pu être conduits jusqu'au coteau dans lequel s'enfonce le filon métallique. Il a donc été possible de créer sur ce point de grandes chutes d'eau et même d'en augmenter beaucoup la hauteur utile, par le percement de longues galeries d'écoulement, partant du centre des travaux et débouchant dans la vallée voisine. Comme de raison, la force motrice qu'on s'est procurée ainsi, varie avec les saisons.

a.

Sa valeur moyenne est, par minute, de 23 mètres cubes d'eau tombant de 66 mètres, ce qui équivaut à environ 1520 mètres tombant d'un mètre.

» Cette puissance motrice, dans l'ancien système d'épuisement de Huelgoat, mettait en jeu des roues hydrauliques échelonnées les unes au-dessus des autres sur le flanc de la montagne où la mine est située; les roues, à leur tour, transmettaient le mouvement à trois *machines à tirans*. Ces machines, malgré leur belle exécution, ne donnaient que les vingt centièmes de la force motrice, et leur entretien annuel ne coûtait pas moins de 40000 francs. Ajoutons qu'en 1816, après une dépense de plus de 120000 francs, les trois machines réunies ne suffisaient plus à l'épuisement des sources. Les eaux envahissaient graduellement les travaux, et l'on pouvait calculer l'époque où ce bel établissement serait inévitablement abandonné.

» M. Juncker, auteur du mémoire dont nous rendons compte à l'Académie, fortifié de l'approbation de M. Baillet, inspecteur général des mines, n'hésita pas à proposer à la compagnie de Poullaouen de renoncer entièrement aux impuissans moyens mécaniques dont elle faisait usage, et de les remplacer par des machines à colonne d'eau. Après quelques hésitations des actionnaires, la proposition fut agréée, et M. Juncker se rendit en Bavière pour y voir fonctionner des machines

de cette espèce, construites sous la direction de M. Reichenbach, et qui, malgré le peu que l'on savait alors de leur importance, semblaient mériter l'examen scrupuleux d'un homme de l'art.

» M. Reichenbach, que l'Académie a compté parmi ses correspondans, est principalement connu en France par les beaux instrumens d'astronomie et d'optique sortis du célèbre atelier de Benedic-Bauern; les grandes et ingénieuses machines dont la Bavière et l'Autriche lui sont redevables, ne témoignent pas moins de la haute portée de ses conceptions industrielles, et de la fécondité de son esprit inventif. M. Juncker, après avoir payé un juste et touchant tribut de reconnaissance à la mémoire de cet excellent homme, décrit succinctement les magnifiques établissemens de Saltzbourg.

» La Bavière, en 1825, produisait annuellement 75000 quintaux de sel. Une partie provenait de sources : elle était extraite par voie d'évaporation, à l'aide des moyens connus; l'autre, tirée d'abord d'une mine située dans la vallée de *Berchtesgaden*, était transportée à *Reichenhall*, où elle subissait une purification par dissolution. Mais le transport de ce sel gemme, quoique plus avantageux que ne l'aurait été celui du combustible dans la vallée étroite et peu boisée de Berchtesgaden, était cependant fort coûteux. D'après les idées de Reichenbach, ce système fut entiè-

rement abandonné : c'est à l'état liquide, dans des tuyaux de conduite, et après avoir été convenablement élevé à l'aide de deux puissantes machines à colonne d'eau, que le sel est maintenant expédié par-delà les montagnes abruptes, dernières ramifications des Alpes tyroliennes, qui séparent Berchtesgaden de Reichenhall. Ainsi, le bois, qui ne peut être rendu liquide, ne va plus aujourd'hui chercher le sel; c'est, au contraire, le sel qui marche de lui-même à la rencontre du bois.

» Nous regrettons que les bornes de ce rapport ne nous permettent pas de faire connaître en détail cette gigantesque entreprise. Nous dirons, toutefois, pour en donner une idée, que, dans son trajet, l'eau salée est soulevée à quatorze reprises différentes au moyen d'un pareil nombre de pompes foulantes mues par neuf machines à colonnes d'eau et par cinq roues à augets; que l'une de ces premières machines, celle de la localité nommée Illsang, marche sous l'action d'une chute d'eau de plus de 100 mètres, et refoule l'eau salée, d'un seul jet, à une hauteur verticale de 356 mètres; que la conduite parcourue par la dissolution saline, entre la source et le point où l'évaporation s'opère, offre un développement de tuyaux d'une longueur de 109000 mètres, ou de 27 lieues de poste; enfin que le résultat utile, comparé à la dépense de force, atteint, sur divers points, la fraction 72 centièmes! Quand il rap-

proche ce nombre du résultat qu'obtenaient, avec les anciennes machines à colonne d'eau, les ingénieurs Hoëll et Winterschmidt, le mécanicien étonné se demande naturellement quelles ont été, parmi les diverses innovations dues à Reichenbach, celles qui ont le plus contribué à une pareille amélioration. Suivant M. Juncker, il faudrait les ranger dans l'ordre suivant :

» L'adoption d'un régulateur à piston, tellement construit, que les colonnes d'eau se meuvent, s'arrêtent sans chocs appréciables;

» L'idée d'emprunter à la colonne d'eau motrice la force nécessaire pour faire agir ce régulateur avec une précision presque mathématique;

» L'emploi d'orifices d'admission et d'émission fort grands, de telle sorte que la veine fluide n'éprouve plus ni contractions ni vitesses excessives;

» La disposition qui permet de faire agir directement la puissance sur la résistance sans aucun intermédiaire de balanciers, leviers coudés, etc.

» La substitution, quelle que soit la hauteur de la colonne de refoulement, d'une pompe unique à la multitude de pompes placées à divers étages dont on se servait jadis.

» L'examen minutieux de tant d'ingénieuses conceptions devait, de plus en plus, confirmer M. Juncker dans sa première pensée que les machines à colonne d'eau pourraient seules sauver

les mines d'Huelgoat de la submersion complète dont elles étaient menacées ; aussi se décida-t-il à prendre irrévocablement pour guide les travaux de Reichenbach. On aurait grand tort, toutefois, d'imaginer que le rôle de copiste, que s'attribue si modestement M. Juncker, fût exempt d'immenses difficultés; il fallait, en effet, que la machine projetée eût une puissance prodigieuse, une puissance double au moins de celle que possède la machine déjà citée d'Illsang. En Bavière, tout se trouve établi, maintenu, étayé au grand jour, dans un espace indéfini, sur un terrain solide; à Huelgoat, au contraire, la machine, la pompe, les tuyaux, devaient être placés ou plutôt suspendus dans un puits resserré, et le long duquel se rencontraient fréquemment des couches *ébouleuses*. Dans les établissemens bavarois, l'appareil moteur est immédiatement au dessus de la pompe foulante des eaux salées. En Bretagne, ces deux parties de l'appareil ne pouvant être que fort éloignées verticalement, il fallait pourvoir à l'équilibration de tiges très longues, très rigides et dès lors très pesantes, destinées à les réunir. Ces dissemblances, sur lesquelles nous n'insisterons pas davantage, suffiront à tous ceux qui se sont occupés de mécanique appliquée, pour qu'ils entrevoient combien de graves difficultés l'ingénieur de Huelgoat devait s'attendre à rencontrer sur sa route.

» Afin de ne pas abuser des momens de l'Aca-

démie, nous allons maintenant parcourir avec rapidité les questions traitées dans les divers chapitres du mémoire qu'elle a soumis à notre examen. Toutefois, puisque le secours des figures nous manque, on nous permettra de dire, avant d'entrer en matière, et cela avec l'espérance d'être compris même de ceux qui n'ont jamais vu une machine à colonne d'eau, que la forme et les mouvemens d'une telle machine ressemblent complétement à ceux de la machine à vapeur ordinaire : ici c'est le ressort de la vapeur d'eau qui détermine les oscillations du piston; là ces mêmes oscillations sont engendrées par l'action, tantôt possible et tantôt supprimée, d'une longue colonne liquide, dont la pression, évaluée en atmosphères, s'obtient en divisant sa hauteur verticale par 10^{m},4 (32 pieds).

» Avant de faire exécuter ses appareils, M. Juncker avait à discuter les avantages respectifs des machines à colonne d'eau à simple et à double effet : il trouva qu'à Huelgoat, les premières devaient obtenir la préférence. Le jaugeage des eaux d'infiltration lui apprit qu'il aurait chaque jour à extraire d'une profondeur de 230 mètres plus de 5000 mètres cubes d'eau. La force motrice dont il pouvait disposer dans le même temps, résultait de plus de 30000 mètres cubes de liquide tombant de 61 mètres de hauteur; mais la masse des eaux d'infiltration est susceptible d'augmentation;

à Huelgoat on a même toute raison de craindre une prochaine irruption de liquide; d'ailleurs, une machine, quelle qu'en soit la construction, doit se déranger tôt ou tard; il fallait donc songer à en avoir deux, mais non solidaires.

» Partant de ces données générales, M. Juncker calcule le diamètre des pistons principaux, après avoir déterminé les limites pratiques de vitesse qu'on ne saurait dépasser dans ce genre de machines sans des inconvéniens graves. Ces diamètres, il les fixe à plus d'*un mètre*. Désormais c'est de la machine construite, de la machine en place, que M. Juncker nous entretiendra.

» Le premier objet dont il donne la description, est le régulateur hydraulique qui se trouve placé à côté du corps de pompe principal. Ce merveilleux appareil anéantit peu à peu, mais vers la fin de la course seulement, toute la vitesse dont le piston moteur est animé; il dispose ensuite ce dernier à reprendre sa marche par degrés insensibles. Ce sont les plus subtiles prescriptions de la mécanique rationnelle mises en pratique. Aussi à Huelgoat, disent, avec l'auteur, tous ceux qui ont visité l'établissement, il est impossible d'apercevoir sur aucun point la moindre manifestation matérielle de force vive, de chocs, de contre-coups ou de vibrations. Les mouvemens s'y effectuent avec un moelleux et un silence qu'aucune autre machine ne présente au même degré.

» Des parties organiques, M. Juncker passe à plusieurs dispositions qui, pour être secondaires, n'en méritaient pas moins une mention spéciale et détaillée ; mais vos commissaires ne sauraient s'y arrêter sans dépasser les limites du rapport dont vous les avez chargés. Ils ne peuvent cependant se dispenser de dire quelques mots d'une partie fort essentielle de la machine d'Huelgoat que M. Juncker appelle le *balancier hydraulique*.

» La puissance des machines jumelles proprement dites, placées près de l'entrée de la galerie d'écoulement, se transmet aux pompes établies au fond de la mine, par deux systèmes de tirans verticaux. Des considérations étrangères aux principes de l'art ont forcé l'ingénieur à construire l'un de ces attirails en bois. L'autre est en fer et ne pèse pas moins de 16000 kilogr. (environ 300 quintaux, anciennes mesures). A chaque mouvement descendant de la machine, cette masse de 16000 kilogr. descend elle-même verticalement d'une longueur égale à l'amplitude de l'excursion du piston. Si l'on n'y avait pourvu à l'aide d'une équilibration convenable, pendant l'oscillation opposée de ce même piston, on aurait donc eu, et cela en pure perte, à soulever la chaîne. Son énorme poids se serait ainsi ajouté à celui de la quantité d'eau que le refoulement amène sans cesse dans le tuyau de la pompe d'épuisement.

» Après avoir posé le problème, M. Juncker se

livre, dans son mémoire, à un examen minutieux des avantages et des inconvéniens des divers modes d'équilibration adoptés par les mécaniciens. Quant à vos commissaires, il leur suffira de dire que celui dont M. Juncker a fait usage est inhérent à la machine; qu'il agit sans aucun intermédiaire de corps solides, et avec une continuité inaltérable, tantôt pour seconder la puissance, tantôt pour mettre un frein à la libre descente du piston et des chaînes; qu'il offre une sécurité absolue; nous ajouterons, enfin, qu'il se fonde sur le principe même des machines à colonne d'eau, et sur l'idée bien simple de placer tout l'appareil en contre-bas de la galerie d'écoulement. De cette manière, la colonne de chute étant alongée, la force motrice se trouve avoir reçu l'accroissement nécessaire pour soulever l'attirail.

» Les pompes foulantes sont une invention si ancienne, si répandue; tant d'habiles mécaniciens ont eu intérêt à les perfectionner, que nous ne pouvions guère espérer de rencontrer quelque chose de neuf dans le chapitre où M. Juncker a décrit celles de ces pompes qui, dans la machine d'Huelgoat, ramènent à la surface les eaux d'infiltration de la mine. Eh bien! nous avons été agréablement trompés, car l'auteur a trouvé le secret d'introduire diverses améliorations dans cette partie de son appareil. Aussi chacun y re-

marque-t-il maintenant le même moelleux, la même absence d'ébranlement et de bruit que dans la machine motrice; aussi le produit théorique de la pompe, calculé d'après l'amplitude des oscillations du piston et d'après son diamètre, ne surpasse-t-il que *d'un trentième* le produit effectif, tandis que dans certaines machines analogues, construites sur de bons systèmes et bien exécutées en apparence, le mécompte s'est élevé fréquemment *à un quart.*

» Le système adopté par M. Juncker imposait la nécessité *de suspendre* l'appareil moteur lui-même *dans le vide* d'un puits de 230 mètres de profondeur. De là des difficultés d'établissement que cet ingénieur a surmontées par des moyens auxquels les constructeurs les plus expérimentés ne refuseront certainement pas la plus entière approbation. Le pont en fer jeté sur le puits, et qui supporte toute la machine, offre une si parfaite solidité, que la main n'y peut découvrir le moindre *frémissement*, même à l'instant où les pistons commencent à recevoir l'impulsion de l'eau motrice.

» Un ingénieur prévoyant ne pouvait manquer de porter son attention sur la possibilité de quelque rupture dans un mécanisme composé de tant de lourdes pièces, et sur les accidens qui en seraient la conséquence inévitable. Qu'on se figure, par exemple, le piston principal de la machine,

détaché de la résistance à la suite de la rupture du tirant supérieur! Soumis alors à tout l'effort du moteur, il monterait dans le corps de pompe avec une vitesse accélérée, et, parvenu au terme de sa course, il ne saurait manquer de produire d'énormes dégâts. D'un autre côté, l'attirail abandonné à lui-même tomberait de tout son poids. En se rappelant que ce poids, pour l'attirail en fer, est de 16000 kilogrammes (plus de 300 quintaux ordinaires), tout le monde comprendra quels ravages s'opéreraient le long des parois du puits, dans les tuyaux ascendans et au fond de la mine.

» D'ingénieuses dispositions ont été adoptées par M. Juncker pour parer entièrement à la double catastrophe que nous venons de faire entrevoir.

» Plusieurs usines concoururent dans le temps à la construction de la machine d'Huelgoat. M. Wilson, de Charenton, fit exécuter, sur les dessins de M. Juncker, la machine proprement dite. M. Émile Martin, de Fourchambault, fabriqua le long système de tirans dont nous avons si souvent parlé; d'autres fournirent les tuyaux. Ces tuyaux, essayés à la presse hydraulique sous une pression supérieure, il est vrai, à celle qu'ils devaient supporter, se trouvèrent tellement poreux, que l'eau jaillissait de leur surface dans toutes sortes de directions, en filets plus ou moins capillaires. Pour remédier à cet inconvénient, M. Juncker s'avisa d'un moyen qui déjà, nous le croyons du moins,

avait été employé par d'autres ingénieurs. Les tuyaux défectueux furent remplis d'huile de lin siccative, puis soumis à l'action de la presse hydraulique alimentée elle-même avec de l'huile de lin ordinaire. Aucun suintement gras ne se fit remarquer extérieurement, et, toutefois, l'opération avait obstrué les pores, puisque ces mêmes tuyaux, essayés quelque temps après avec l'eau, se montrèrent imperméables, et que depuis qu'ils sont en place, pas une goutte de liquide ne s'est échappée sous des pressions de 15 à 20 atmosphères.

» A la suite de l'opération dont nous venons de rendre compte, la fonte grise des tuyaux se trouva couverte, à l'intérieur, d'un enduit ou vernis fortement adhérent, qui la défend contre l'oxidation et même contre l'action des eaux acides de la mine d'Huelgoat. Ne serait-ce pas là, dit M. Juncker, un moyen simple d'empêcher la précipitation si fâcheuse de tubercules ferrugineux qui s'opère dans les tuyaux de conduite des fontaines de Grenoble?

» Disons, en terminant, que tant d'études, tant d'ingénieuses combinaisons, tant de travaux, tant d'expériences, n'ont pas été en pure perte. La machine d'Huelgoat a réalisé toutes les prévisions de la science. Depuis trois années et demie, elle fonctionne, nuit et jour, à l'entière satisfaction des propriétaires. La régularité, la douceur, le

moelleux de ses mouvemens, l'absence complète de bruit, ont été un juste sujet d'admiration pour les ingénieurs de divers pays qui l'ont examinée. Il est vraiment regrettable qu'une machine si belle, si puissante, si habilement exécutée, et qui fait tant d'honneur à notre industrie, soit reléguée à l'une des extrémités de la France, dans un canton rarement visité. Elle n'aurait pas manqué, sans cela, d'exciter le zèle des propriétaires de mines, et les machines à colonne d'eau remplaceraient déjà, sur beaucoup de points, des moyens d'épuisement qui sont à la fois un objet de pitié pour le mécanicien qui les étudie, et une cause de ruine pour le capitaliste qui les emploie. Puisse la publicité que reçoit aujourd'hui le succès de M. Juncker, hâter un résultat que nous appelons de tous nos vœux, et qui contribuera certainement beaucoup au développement de la richesse nationale.

» Le mémoire, disons mieux, l'*ouvrage* dont nous venons de rendre compte à l'Académie, est accompagné de planches magnifiques à grand point, où les ingénieurs trouveront tout ce qu'il leur importe de savoir sur la forme et l'ajustement des diverses parties de la machine d'Huelgoat. Nous devons ajouter, qu'il est rédigé avec méthode, avec clarté, avec précision, et, ce qui ne gâte jamais rien, avec une rare élégance. L'auteur, à chaque page, rend justice pleine et

entière à tous ceux qui par leurs conseils directs ou par leurs travaux antérieurs lui ont été utiles. On voit que sa modestie est de bon aloi, que sa reconnaissance est sincère : comme tant d'autres, il ne se borne pas à faire strictement ce qu'il faut pour échapper aux réclamations. Ce bel ouvrage sera désormais le manuel obligé de tous ceux qui voudront exécuter de puissantes machines à colonne d'eau ; mais, on nous permettra de le dire, il doit avoir un autre genre d'utilité : après l'avoir lu, chacun pourra, par un nouveau nom propre, détromper ceux qui, bien à tort, se persuadent qu'aujourd'hui Paris absorbe tous les hommes d'élite. Le travail de l'ingénieur de Huelgoat, quelque peu disposé qu'on soit à une pareille concession, prouvera combien les connaissances théoriques puisées dans nos écoles, éclairent utilement le praticien, combien de tâtonnemens, de mécomptes, de dispendieuses bévues elles lui épargnent ; enfin l'habileté consommée, dont M. Juncker a fait preuve dans la conception et le placement de sa superbe machine, apprendra aux capitalistes, si d'autres exemples éclatans ne les ont déjà détrompés, que des ingénieurs français ne manqueront pas à leurs projets, quelque gigantesques qu'ils puissent être.

» Vos commissaires se seraient empressés de solliciter l'insertion du mémoire de M. Juncker dans le *Recueil des Savans étrangers*, s'ils n'a-

vaient appris que l'Administration des Ponts et Chaussées et des Mines doit le publier très prochainement. Nous nous bornerons donc à proposer à l'Académie de vouloir bien accorder son approbation à ce beau travail, mais en regrettant que les usages n'autorisent pas la demande d'un témoignage de satisfaction plus éclatant! »

L'Académie approuve les conclusions de ce rapport. Elle décide, en outre, qu'il sera imprimé, en entier, dans le *Compte rendu* de la séance.

MÉMOIRE

Sur les machines à colonne d'eau de la mine d'Huelgoat, concession de Poullaouen (Finistère);

Par M. JUNCKER, Ingénieur des mines.

S'il est peu de mines où l'épuisement des eaux souterraines présente autant de difficultés qu'à celle d'Huelgoat, il n'y en a pas où l'on ait fait plus de travaux et de sacrifices pour surmonter cet obstacle, si constamment opposé aux entreprises des mineurs. Introduction

Ces difficultés, qui résultent principalement de l'excessive abondance des sources, sont encore aggravées par quelques causes secondaires, parmi lesquelles je citerai la nature vitriolique des eaux et la disposition du gîte du minerai.

On conçoit que l'abondance des filtrations puisse toujours être combattue par un déploiement convenable de force motrice, en admettant toutefois que l'importance de l'exploitation justifie les dépenses toujours considérables auxquelles donnent lieu la construction et l'entretien de puissantes machines.

La situation topographique de la mine d'Huelgoat, par un rare bonheur, est éminemment favorable à l'établissement de telles machines et à l'emploi d'un moteur naturel. Il semblerait que la réunion en ce lieu de grandes richesses minérales, avec toutes les circonstances à la fois les

plus heureuses et les plus difficiles pour leur exploitation, est une combinaison toute providentielle par laquelle les hommes ne sont appelés à jouir du bienfait qu'à la condition d'y appliquer toute leur sagacité et un travail opiniâtre.

La contrée d'Huelgoat est très accidentée; des vallons nombreux et profonds la sillonnent en tous sens, et servent de lit à des cours d'eau plus ou moins considérables, qui se jettent dans une vallée principale où coule la rivière *d'Aulne* (1).

En détournant quelques-uns de ces cours d'eau et les amenant, avec une pente ménagée, le long des coteaux jusqu'à celui dans lequel s'enfonce le filon d'Huelgoat, il a donc été possible de créer des chutes très notables, et de les augmenter encore par le percement de longues galeries d'écoulement.

Force motrice disponible.

Par un premier canal de dérivation de 300 mètres de développement, on s'est procuré une chute de 24 mètres, qui a suffi aux premiers besoins de l'exploitation et de la préparation mécanique; une galerie d'écoulement poussée jusqu'au centre des travaux, selon la direction du filon, complétait cette installation transitoire. Mais bientôt ayant senti le besoin d'une force plus grande, on a fait

(1) M. l'ingénieur en chef d'Aubuisson a publié, dans le *Journal des Mines*, tomes XX et XXI, sur Poullaouen et Huelgoat, divers mémoires descriptifs, qui donnent, sur la constitution physique et géographique du pays, sur l'exploitation, et particulièrement sur les machines d'épuisement de ces mines, des détails circonstanciés et de la plus scrupuleuse exactitude. Mais, comme sa visite remonte à l'année 1806, il n'a pu rendre compte de divers objets qu'on y remarque aujourd'hui, et notamment de la machine intermédiaire dont il sera fait mention ci-après.

construire un nouveau canal de 6.400 mètres de longueur, à 26 mètres au-dessus du premier. En même temps il a été percé une nouvelle galerie d'écoulement, ayant son embouchure 16 mètres plus bas que l'autre. Enfin, un ancien étang très vaste qui reçoit d'abondans ruisseaux (1), fut acquis et disposé pour alimenter les canaux et servir de régulateur à l'eau motrice dans la saison de sa moindre abondance.

La force motrice dont on s'est assuré par ces travaux d'art, consiste : 1° pour le canal supérieur, en une masse d'eau qui, dans les années ordinaires, varie de 12 à 28 mètres cubes par minute, tombant de 66 mètres de hauteur, ou moyennement 1.320 mètres cubes tombant d'un mètre; 2° pour le canal inférieur, alimenté par le trop plein du premier et par quelques affluens particuliers, en 2 à 8 mètres cubes, avec une chute de 40 mètres, ou 200 mètres cubes à 1 mètre de hauteur.

Cette force énorme de 1.520 unités dynamiques n'était pas intégralement dépensée par les machines d'épuisement : la préparation mécanique des minerais en absorbait une quantité notable; une autre partie plus considérable était perdue par suite de différens vices dans la distribution et

(1) Ces ruisseaux deviennent pendant l'hiver de véritables torrens, qui versent par minute plusieurs centaines de mètres cubes d'eau dans l'étang. J'ai vu celui-ci rempli de fond en comble à la suite d'un fort orage. Trois ouvertures pratiquées dans la chaussée suffisent à l'écoulement de l'eau, quelle qu'en soit la quantité. Savoir : un aquéduc pour le service d'un moulin et de la mine, un large pertuis de vannes, enfin, un vaste déversoir de superficie.

le nivellement des chutes, ou par des pentes exagérées dans les aqueducs et les coursiers.

Ancien système d'épuisement.

L'ancien système d'épuisement comprenait trois grandes machines à tirans, très bien construites, et mues par des roues hydrauliques, échelonnées les unes au-dessous des autres, sur le flanc de la montagne où est située la mine.

Les eaux du canal supérieur tombaient d'abord sur une première roue à augets de 13 mètres de diamètre, puis sur une seconde de 11 mètres; réunies ensuite à celles amenées par le canal inférieur, elles faisaient mouvoir la troisième roue de 13 mètres de diamètre. Cette même masse d'eau passait enfin au service des laveries et de deux bocards successifs, et se déchargeait dans le ruisseau qui coule au fond du vallon; ce confluent est encore élevé de 15 mètres au-dessus du sol de la galerie d'écoulement la plus profonde. Cette chute avait été laissée tout-à-fait oisive.

Je n'entreprendrai point la description détaillée de ces machines, parce qu'elle m'entraînerait trop loin de mon sujet, et que d'ailleurs elle ne saurait être un renseignement utile pour personne. Je crois devoir cependant donner un aperçu des parties principales dont elles se composent, indiquer l'effet utile qu'elles rendent et faire ressortir les défauts et les inconvéniens qu'elles présentent. On comprendra mieux ainsi les motifs qui ont dû décider la suppression à Huelgoat de ces grands appareils mécaniques, auxquels d'ailleurs l'art des mines devrait renoncer à tout jamais, partout du moins où il n'est pas indispensable d'y avoir recours.

La direction du filon et la disposition des colonnes métallifères sont malheureusement telles

que les travaux d'exploitation ont fui sans cesse la côte sur laquelle les roues hydrauliques ont été échelonnées. C'est ainsi que les puits principaux, établis en général pour servir en même temps à l'extraction du minerai et à l'épuisement de l'eau, ont dû être placés à des distances de plus en plus grandes des points où la puissance motrice pouvait être développée : ces distances sont respectivement de 104, 400 et 650 mètres pour les roues inférieure, supérieure et intermédiaire.

La transmission de la puissance jusqu'aux pompes, distribuées dans les trois puits, s'opérait au moyen de longs attirails de tirans de bois, assemblés, soutenus, guidés, équilibrés et mus par les moyens connus.

La machine intermédiaire présentait au jour un double attirail de 641 mètres de longueur, brisé ou articulé cinq fois pour suivre les accidens du terrain, éviter les obstacles et descendre dans le puits situé sur le revers opposé de la montagne.

Les quatre lignes de tirans des deux autres machines étaient au contraire entièrement souterraines ; deux vastes galeries avaient été percées pour les recevoir et les conduire jusqu'au puits où elles se brisaient à angles droits, au moyen de varlets ou croix, et se terminaient en maîtresses tiges verticales.

Tous ces attirails formaient ensemble une longueur développée de 3.750 mètres, et mettaient en jeu 59 pompes basses en bois, étagées de 10 en 10 mètres, et distribuées selon les nombres 22, 16, 21, entre les trois machines inférieure, intermédiaire et supérieure. Ces deux dernières seules puisaient l'eau dans le fond de la mine pour la verser dans une galerie de moyenne profondeur,

où elle était reprise par la première et élevée jusqu'à la galerie d'écoulement.

Effet utile des anciennes machines.

Des expériences faites avec soin, répétées de plusieurs manières et fondées sur le jaugeage des eaux souterraines et motrices, ont démontré que le rapport qui exprime l'effet utile de ces machines est représenté par la fraction 0,23 pour la première, par 0,18 pour la seconde, et 0,21 pour la troisième.

Ces résultats sont bien au-dessous de ceux qu'on a trouvés dans d'autres localités pour des machines du même genre. Il est vrai qu'ordinairement l'effet utile n'est pas *mesuré* comme ici, mais seulement *calculé* d'après la course et le diamètre du piston, et l'on sait combien ce mode est vicieux, surtout quand les pompes sont d'une grossière exécution, très multipliées, et souvent de diamètres inégaux.

Quoi qu'il en soit, j'admets notre infériorité, et sans chercher à poursuivre une comparaison dont les premiers élémens me manquent, je me contenterai d'indiquer succinctement les causes principales qui concouraient à diminuer les produits effectifs de nos anciennes machines et à augmenter les dépenses de leur entretien. Ces causes sont :

1° La masse immense des attirails, leur complication, leurs brisemens répétés, et partant, les résistances qu'ils opposent au mouvement alternatif qu'il faut leur imprimer (1).

---

(1) Dans une expérience faite par M. Baillet, il a été constaté que la machine intermédiaire marchant à vide avec son attirail, mais sans les pistons des pompes, consommait les $\frac{2}{5}$ de la quantité d'eau qu'elle exigeait pour

2° L'acidité des eaux (chargées de sulfate de peroxide de fer), dont l'effet est de détruire rapidement les garnitures et clapets de cuir, et d'attaquer assez vivement aussi les ferremens des attirails, et particulièrement les tiges des pompes. De là la nécessité de changemens fréquens, et par suite, de suspensions dans le travail utile des machines; ces suspensions partielles s'ajoutent à celles qui résultent des ruptures assez fréquentes et des réparations dans les lignes de tirans.

3° L'emploi de corps de pompes en bois commandé aussi par la nature vitriolique des eaux. Ces pompes se déformant et s'agrandissant incessamment, il arrive que les pistons joignent presque toujours mal, et que dans une même colonne la quantité d'eau élevée n'est jamais que celle qui correspond à la pompe la plus petite ou à celle qui est le plus mal garnie.

4° La grande vitesse que l'on est obligé de donner aux roues pour que ces mauvaises pompes produisent un effet passable.

5° Le peu de hauteur et le grand nombre des répétitions de pompes, ce qui multiplie les résistances provenant des pistons et clapets. D'ailleurs, dans ces sortes de pompes, les tuyaux d'aspiration qui en occupent les deux tiers de la longueur ne peuvent avoir qu'une petite section intérieure, que des dépôts de sous-sulfate de fer tendent encore à rétrécir; de là de nouvelles résistances dues

---

marcher à charge avec la même vitesse de six tours par minute. Il n'y a donc que dans cette machine que les $\frac{2}{5}$ de la force motrice qui soient employés à faire agir les pompes et à vaincre les frottemens et résistances qui naissent de cette action.

à une excessive accélération dans le mouvement de l'eau, qui parcourt dans ces tuyaux jusqu'à 9 et 10 mètres par seconde.

Tels étaient les vices et les inconvénicns principaux attachés à l'ancien système d'épuisement. On peut y joindre l'obligation d'entretenir une longueur de 660 mètres de galeries entièrement étançonnées avec des bois de fortes dimensions; deux grands puits, boisés aussi, d'une profondeur totale de 400 mètres. Enfin 140 mètres de canaux et coursiers en bois, tous objets uniquement affectés au service des machines.

La rareté toujours croissante, dans le pays, des bois de construction propres aux réparations des machines et des boisages, doit aussi être mentionnée ici.

Nécessité d'un changement radical de système d'épuisement.

Les considérations précédentes qui établissent tout le désavantage dynamique et font deviner les énormes dépenses d'entretien d'un pareil système, expliquent suffisamment comment la pensée de lui en substituer un autre plus efficace et moins onéreux a dû se former promptement dans mon esprit.

On objectera peut-être qu'avant d'en venir à un changement radical, il eût été convenable d'essayer de corriger autant que possible les graves défauts dont il vient d'être question. Cette idée, qui m'était en effet venue tout d'abord, a été l'objet d'un examen sérieux; j'ai cherché quels seraient les perfectionnemens qui pourraient nous conduire à des résultats, sinon satisfaisans, du moins sensiblement meilleurs; j'ai songé, par exemple, à l'emploi de pompes hautes, ou même seulement de pompes basses munies de corps en cuivre. Mais je me suis bientôt convaincu que

toutes dispositions qui n'auraient pas pour objet de placer l'appareil moteur près des pompes à mouvoir, ne pourraient être considérées que comme des demi-mesures insuffisantes pour assurer l'avenir de l'exploitation, et diminuer notablement les dépenses relatives à l'épuisement. Celles-ci s'élevaient par an à la somme énorme de 40.000 fr., et constituaient ainsi pour la mine une véritable plaie, à laquelle il était d'autant plus urgent de porter un remède prompt et énergique, que l'exploitation se trouvait alors dans la situation la plus critique.

En effet, dès 1816, sept ans seulement après l'achèvement de la machine intermédiaire (qui avait coûté plus de 120.000 fr.), les machines ont cessé de suffire à l'épuisement des sources; les eaux ont envahi, et constamment couvert depuis, le fond des travaux où se trouvaient alors les seuls massifs de minerais qui restassent à exploiter dans ce filon jadis si riche.

La conséquence immédiate d'un tel état de choses aurait été l'abandon immédiat de ce bel établissement, si l'on n'avait pas fait à la même époque une découverte heureuse (1), qui, en pro-

(1) Une recherche, poussée obliquement à la direction du filon (qui est N. S.) que l'on avait supposé terminé ou perdu dans le schiste, du côté du midi, a fait voir qu'il n'avait été que dérangé ou rejeté parallèlement à lui-même d'environ 28 mètres à l'ouest par une faille ou filon croiseur; le rejet a eu lieu ici, du côté de l'angle aigu formé par les deux lignes de direction. M. d'Aubuisson avait pressenti et pour ainsi dire indiqué cette déviation dès 1806, dans son mémoire déjà cité sur la mine d'Huelgoat, et il est bien extraordinaire que l'on ait attendu plus de dix ans pour se décider à faire un travail si

curant un nouveau champ d'exploitation à une moyenne profondeur, donna le temps de combiner et d'exécuter un système d'épuisement plus avantageux.

Il ne fut donc plus question d'abandonner l'exploitation ; on songea sérieusement au contraire à en consolider l'avenir par tous les moyens, par toutes les ressources que présentent aujourd'hui les sciences des mines et des machines. Quoique je ne fusse chargé que depuis peu de temps de la direction de l'établissement, je présentai mes vües sur cet objet important, tout en engageant les concessionnaires à se méfier de mon noviciat et à s'en référer aux lumières d'un homme plus expérimenté et plus versé que moi dans l'examen de ces sortes de questions.

Enquête sur la question de l'épuisement, par M. Baillet.

Monsieur l'inspecteur général Baillet voulut bien accepter cette mission, et c'est dire qu'elle

important, si peu dispendieux et d'une opportunité si évidente. On ne peut expliquer ce retard que par le défaut de lumières des personnes placées alors à latête des travaux, et par la mauvaise administration centrale de l'ancienne compagnie qui, du fond de son bureau de Paris, voulait dicter les moindres ouvrages d'art. Cette recherche, qui venait d'être commencée lors de mon arrivée sur l'établissement, a été continuée avec persévérance ; d'autres à divers étages l'ont suivi, en sorte que maintenant le filon est exploré souterrainement sur une longueur de plus de 400 mètres, et à la superficie sur une étendue au moins aussi considérable. Il est productif et intact sur une grande partie de cette longueur de 400 mètres. Ces travaux ont eu malheureusement aussi pour conséquence une augmentation notable et progressive des eaux de filtration, et ont ainsi ajouté de nouvelles difficultés à l'épuisement.

fut remplie avec talent et avec un soin consciencieux.

Mais les conclusions de son rapport en tout conformes à celles que j'avais moi-même présentées, comprenant implicitement la nécessité de recourir à un appel de fonds considérable, amenaient dans la question une difficulté nouvelle.

La compagnie des anciens concessionnaires, découragée par des bénéfices insignifians, et même par des pertes répétées, ne se souciait pas d'engager de nouveaux capitaux dans une entreprise et des projets d'amélioration dont le succès lui paraissait encore problématique. Heureusement il se trouva dans son sein trois membres plus éclairés et plus confians dans les ressources que la nature et l'art leur offraient de concert; encouragés par l'avis favorable de M. Baillet, ils résolurent de racheter les intérêts de leurs collègues, et, moins timides qu'eux, de fournir seuls les fonds reconnus nécessaires pour le roulement de l'établissement et pour faire face aux dépenses extraordinaires que les changemens projetés allaient occasioner.

L'administration financière, jusqu'alors négligée, fut confiée à l'un des associés, M. Drouillard, négociant habile et très versé dans la gestion des affaires industrielles. Le succès le plus complet a couronné nos efforts communs, et c'est un nouvel exemple, sur une petite échelle à la vérité, de la force productive qu'engendre toujours dans les opérations d'industrie un accord parfait, une complète unité de vues, une confiance réciproque entre les hommes de l'art et les capitalistes.

La nécessité bien manifeste de recourir à des appareils mécaniques plus puissans et plus simples

Machines à colonne d'eau proposées.

que les anciens, sous la condition de ne créer aucune force motrice nouvelle, nous a conduits, M. Baillet et moi, à proposer l'emploi de machines à colonne d'eau. Tel a été aussi l'avis de presque toutes les personnes de l'art, et particulièrement de MM. Beaunier et Gallois, qui ont visité la mine d'Huelgoat, examiné la disposition des travaux intérieurs, et admiré les chutes d'eau que la configuration du terrain a permis d'y établir.

Notre conseil toutefois a été plutôt dicté par la conviction du mérite théorique de ces machines et le sentiment de leur perfectibilité, qu'appuyé sur la connaissance positive de leurs effets, et la certitude d'une supériorité pratique bien constatée.

Imperfection des anciennes machines à colonne d'eau.

Il y a plus, cette supériorité devait paraître fort douteuse pour quiconque venait à examiner les causes de la rareté des applications ou de l'abandon de ces machines dans quelques localités, ainsi que les documens peu nombreux et fort incomplets, il faut en convenir, qui en font mention et qui se trouvent dans les ouvrages de Délius, Forber, Jars et Duhamel, Héron de Villefosse, etc.

On reconnaît bientôt, en effet, que ces machines sont restées dans leur enfance, entachées des plus graves hérésies d'hydraulique rationnelle et qu'enfin, sous le rapport de l'exécution, elles n'ont point participé aux immenses progrès que l'art du mécanicien a faits depuis vingt ans.

L'une des machines à colonne d'eau de l'atlas de M. Héron de Villefosse fait cependant exception à cette immobilité; en la comparant aux trois autres, ainsi qu'à celle de l'ingénieur hongrois Hoëll, toutes excessivement compliquées, on ne saurait y méconnaître une grande simplification et d'heureuses innovations.

Cette machine a été construite en 1808 aux salines de Bavière, par M. de Reichenbach, qui ne s'en est pas tenu à ce premier progrès. En 1817 il en a établi deux autres de la même espèce, mais beaucoup plus parfaites, dont le renom est heureusement parvenu jusqu'à moi, au moment même où j'étais en quête de lumières sur l'important travail qui allait m'être confié. — Machines à colonne d'eau de Bavière.

C'est à cette voie d'améliorations que j'ai dû rattacher et mon projet et mes espérances de succès. J'ai donc abandonné jusqu'à la tradition des machines informes de Hoëll, usitées aujourd'hui encore en Hongrie, en Bohême, et je me suis hâté d'aller étudier en Bavière les appareils nouveaux qui ne m'étaient encore connus que par la description fort incomplète d'un voyageur, d'ailleurs peu compétent en pareille matière.

Qu'il me soit permis, avant d'aller plus loin, de payer ici un juste tribut de reconnaissance et de regrets à la mémoire de M. de Reichenbach, qu'une mort subite a prématurément enlevé à son pays et à l'Europe savante. Non content de m'accueillir avec cette bienveillance germanique si justement renommée; et de me procurer toutes facilités pour l'étude de ses machines, il a bien voulu encore m'ouvrir, avec le plus généreux abandon, les trésors de sa science, et me diriger dans la combinaison des principaux élémens mécaniques de mon projet; qui, par ses difficultés et son importance, lui avait paru digne d'une sérieuse attention (1). Un tel accueil, fait à un — M. de Reichenbach.

(1) Ces précieux renseignemens m'ont été communs avec un habile ingénieur hanovrien, M. Jordan, qui s'était

étranger que recommandait seulement son ardeur pour les sciences et pour le progrès des arts utiles, est bien digne d'un de ces esprits supérieurs qui n'admettent ni individualité ni nationalité dans les conquêtes de l'intelligence humaine.

M. de Reichenbach était organisé de la manière la plus étonnante pour les arts mécaniques. Son génie, trop long-temps comprimé dans la position obscure qui a marqué l'origine de sa carrière, s'est enfin révélé dans la construction d'instrumens d'astronomie d'une grande perfection, dont il a pourvu les principaux observatoires de l'Europe. Ces premiers succès, qui le firent connaître dans le monde savant, attirèrent sur lui l'attention et la bienveillance du feu roi Maximilien, qui ordonna de déférer à sa profonde sagacité la solution d'une question d'art du plus grand intérêt pour les finances de Bavière, et devant laquelle avaient reculé des capacités d'un haut renom en Allemagne.

Le projet présenté par M. de Reichenbach pour la solution de cette question est tellement remar-

---

rendu en Bavière précisément à la même époque et dans le même but que moi. Il devait être chargé de construire au Hartz une machine à colonne d'eau destinée à élever jusqu'à la grande galerie d'écoulement (*Tiefer Georg stollen*) dans le puits dit *Silber segner Richt Schacht*, les sources de plusieurs exploitations du district nommé *Rosenhœfer Zug*. Ces sources d'un volume total de $1^{m},089$, amenées par d'autres machines et réunies dans une galerie inférieure, sont à élever de 104 mètres; la hauteur de chute pour l'eau motrice est de $194^{m},5$. J'ignore si cette machine, sœur de la nôtre, est terminée; mais je ne doute pas que le succès le plus complet ne couronne sa construction qui ne pouvait être confiée en de meilleures mains.

quable, si peu connu en France et pourtant si digne de l'être, que l'on me saura quelque gré, que l'on me pardonnera tout au moins de prolonger encore un peu la digression dans laquelle je viens d'entrer, pour en rendre un compte succinct. Les hautes conceptions de l'esprit, les œuvres du génie dans les arts industriels surtout, ne sauraient être trop répandues, car tout en augmentant le domaine de ses idées, elles tendent à exciter chez l'homme les facultés créatrices dont il est doué.

Les importantes salines qui existent dans la partie méridionale du royaume de Bavière, au milieu des dernières ramifications des Alpes tyroliennes, sont alimentées par des sources à Reichenhall, et par une mine de sel gemme située près de Berchtesgaden, non loin de celle de Hallein (Saltzbourg).

Autrefois on tirait le sel de cette mine sous deux états différens; soit en dissolution saturée, soit en roche, dans des proportions déterminées par diverses circonstances financières et commerciales. L'eau salée extraite de la mine était évaporée sur place par les moyens connus; le sel en roche, transporté à Reichenhall, y subissait une purification par dissolution dans l'eau de sources salées à bas titre, qui se trouvaient de la sorte enrichies et utilisées.

Mais le transport de ce sel gemme, quoique plus avantageux que celui du combustible, qui n'est pas très abondant dans l'étroite vallée de Berchtesgaden, était cependant fort coûteux; il le devint encore davantage, lorsque, par suite de la délimitation nouvelle des états de Bavière, en 1814, la frontière autrichienne vint empiéter sur

la route qui établissait la communication la plus courte et la plus facile entre les deux usines.

C'est pour remédier à des circonstances aussi fâcheuses, qui tendaient à l'anéantissement d'une richesse minérale considérable, pour s'affranchir d'un transit onéreux et créer de nouvelles voies entre les salines, ainsi que de nouveaux débouchés à leurs produits, que l'on fit appel au génie inventif de M. de Reichenbach.

Machines à colonne d'eau employées au transport du sel.

D'après son plan, l'ancien système fut complétement changé; on cessa de transporter le sel à l'état solide, on donna, au contraire, une plus grande extension à la méthode d'exploitation par dissolution, et c'est à l'état liquide, dans des tuyaux de conduite, avec le secours de deux puissantes machines à colonne d'eau, que le sel fut expédié par delà les montagnes abruptes qui séparent Berchtesgaden de Reichenhall. En même temps on construisit, à force d'art et au milieu des plus grands obstacles, une nouvelle route qui, traversant les mêmes défilés que les tuyaux, affranchit pour jamais la Bavière de la fâcheuse servitude qui lui avait été imposée par les traités de 1814.

Disons ici, en passant, que ces deux machines de transport sont admirables de simplicité, de perfection et de hardiesse; l'une d'elles, placée en un lieu nommé Illsang, et mue par une chute d'eau de plus de 100 mètres, refoule l'eau saturée de sel, d'un seul jet, à une hauteur verticale de 355,7 mètres.

L'eau, ainsi transvasée d'une vallée dans une autre, ne s'arrête pas tout entière à Reichenhall; elle y est mêlée avec l'eau des sources à faible titre, qui a été préalablement concentrée sur des

bâtimens de graduation; une partie de ce mélange, portée à une teneur moyenne et constante de 20 pour 100, est traitée sur place; le surplus est expédié plus loin, vers deux autres établissemens d'évaporation créés à Trauenstein (1) et à Rosenheim, sur l'Inn.

Il est presque inutile de dire que cette répartition de l'eau salée entre quatre points qui s'étendent des bords de la Salza jusqu'à l'Inn, si éminemment favorable sous le rapport commercial, a été commandée par la nécessité de s'assurer d'un approvisionnement suffisant et constant de combustible, en y faisant contribuer une grande étendue de pays forestiers. La consommation de bois ne peut être en effet que très considérable pour obtenir les 750.000 quintaux de sel qui formaient le produit des salines de Bavière en 1822.

Le transport de la dissolution saline de Reichenhall à Rosenheim, en raison des nombreux accidens d'un terrain montueux, a exigé le secours de onze autres machines hydrauliques, dont sept sont à colonne d'eau. L'eau motrice pour toutes ces machines a été amenée à grands frais par des rigoles, qui ont jusqu'à 5.000, 6.000, et même en deux points 11.000 mètres de longueur.

Conduite d'eau salée de 27 lieues de longueur.

Ainsi, dans cette gigantesque entreprise, qui a reçu son entière exécution en 1817, l'eau salée est élevée à 1035 mètres à quatorze reprises différentes, au moyen d'un nombre égal de pompes foulantes, mues par neuf machines à colonne d'eau et cinq

(1) La saline de Trauenstein existait depuis long-temps; elle a seulement reçu un grand accroissement, par suite de l'exécution du vaste plan de M. de Reichenbach.

roues à augets. La conduite que la dissolution parcourt offre un développement de tuyaux d'une longueur de 109.164 mètres, ou 27 lieues de poste (1).

---

(1) Il ne se perd pas une goutte d'eau dans cet immense parcours; on s'en assure sans cesse par une surveillance active, et surtout au moyen d'ingénieuses dispositions de jaugeage adaptées non-seulement aux deux extrémités de la conduite, mais encore en 18 points intermédiaires, occupés par des gardiens ou cantonniers, dont les observations sont inscrites sur un registre d'ordre et se contrôlent ainsi réciproquement.

Ces dispositions, qui fournissent un moyen facile de mesurer le travail utile des machines, sont fort simples : chacune de ces dernières verse son produit dans un très grand bassin en bois, qui porte sur une de ses faces une rangée de trous circulaires, dont les centres sont tous sur une même ligne horizontale. Un certain nombre de ces trous sont d'une égale surface, d'autres sont des parties aliquotes de ceux-là, des $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, etc. C'est par ces orifices que l'eau est forcée de passer avant d'être admise dans une nouvelle ligne de tuyaux de conduite. On règle cet écoulement de façon qu'il ait lieu sous une pression constante pour laquelle on connaît, par expérience, le produit de chaque trou dans l'unité de temps. En comptant ensuite le nombre d'orifices qu'il faut tenir débouchés pour que le niveau de l'eau reste constant dans le bassin, on a, par un calcul très simple le débit total ou le produit de la pompe. C'est ainsi que j'ai mesuré l'effet utile des machines d'Illsang et de Noesselgraben; j'ai trouvé 0,72 pour la première, et 0,60 pour la seconde, qui est à double effet. La dépense d'eau motrice a été évaluée d'après la course du piston dans le cylindre principal, ce qui n'est rigoureux que pour les machines à simple effet, dans lesquelles on peut s'assurer de l'état des garnitures du piston; j'ai tenu compte de l'eau dépensée par la régulation.

Le tableau suivant réunit les indications les plus intéressantes pour l'important travail dont j'ai ci-dessus présenté l'esquisse. Je dois dire toutefois que je n'ai pas vérifié par moi-même les nombres qui s'y trouvent consignés,

Les tuyaux sont généralement en bois, et ont 0m,097 de diamètre intérieur; cependant on les a

---

mais que cependant j'ai tout lieu de les croire conformes à la vérité.

DÉSIGNATION des lieux où l'on a établi des machines ou des réservoirs intermédiaires.	FORCE MOTRICE.		TUYAUX MONTANS des pompes.		TUYAUX DE CONDUITE.			
	Quantité d'eau par minute.	Hauteur de la chute.	Hauteur verticale.	Longueur développée.	Longueur d'une station à l'autre.	PERTE Totale.	PERTE pour 100 m.	
	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	
Ferdinansberg . .	»	5,84	14,60	56,94	1.022,00	4,96	0,36	(1)
Pfisterleiten. . . .	0,456	87,60	90,81	272,73	6.087,18	31,54	0,39	(2)
Illsang	0,960	109,21	355,66	102,20	10.008,01	51,98	0,37	
Schwartzbach wacht	»	»	»	»	5.354,99	367,84	6,03	(3)
Iettenberg	»	»	»	»	5.953,88	54,31	0,68	
Reichenhall	2,250	4,38	12,95	13,14	2.209,86	10,29	0,34	(4)
Fager.	4,400	4,57	61,32	137,24	1.279,54	9,83	c,58	
Seebügel	3,450	7,00	64,34	122,64	2.485,21	18,43	0,55	
Nosselgraben . . .	1,000	40,88	101,06	242,36	3.826,08	37,40	0,78	(5)
Weissbach	1,000	14,01	32,24	94,02	1.221,73	4,21	0,25	
Nagling.	1,000	29,49	96,07	213,74	10.182,04	45,84	0,34	
Hammer	»	»	»	»	6.479,48	35,19	0,40	(6)
Siegsdorf.	0,750	15,18	53,73	211,70	5.629,76	84,53	1,27	(7)
Bergen	»	»	»	»	10.197,22	16,11	0,13	(8)
Staudach	»	»	»	»	3.950,76	12,43	0,23	
Klaushaeusel. . . .	0,550	15,76	35,62	69,20	4.467,60	18,10	0,30	(9)
Bergham.	0,750	22,78	60,44	207,32	10.190,80	57,52	0,42	
Muhlthal	0,550	21,02	44,09	79,42	8.938,12	103,37	1,01	
Ecking.	»	»	»	»	7.524,84	21,90	0,22	(10)
Schlossberg	»	»	12,85	»	2.175,40	21,41	1,16	
Rosenheim	»	»	»	»	»	»	»	(11)
			1035,78		109.164,50	1006,69		

(1) A l'embouchure inférieure de la mine de sel.
(2) Machines à colonne d'eau à simple effet.
(3) Réservoir de distribution.
(4) Roue à augets.
(5) Machine à colonne d'eau à double effet.
(6) Réservoir.
(7) Machine à colonne d'eau à double effet.
(8) Réservoir.
(9) Machine à colonne d'eau à double effet.
(10) Réservoir.
(11) Roue à augets pour élever l'eau salée dans les réservoirs des chaudières.

faits en fonte partout où il y avait pression, comme dans les colonnes montantes des pompes, les traversées de vallons, passages de rivières, etc.

Je ne puis malheureusement pas m'étendre plus long-temps sur les détails d'exécution de cet immense travail, je dirai seulement que tout y est parfait, et que partout, dans ces magnifiques salines, à côté des plus ingénieuses conceptions, on reconnaît la sagesse, l'esprit d'ordre et de conservation qui caractérisent les Allemands et font traverser les siècles à leurs entreprises (1).

Caractères distinctifs des machines à colonne d'eau de M. de Reichenbach.

Les neuf machines à colonne d'eau établies entre Berchtesgaden et Rosenheim ne sont pas toutes pareilles entre elles : construites à trois époques principales, de 1808 à 1817, elles constituent trois systèmes différens, qui présentent les caractères d'un perfectionnement successif. Les deux plus nouvelles sont à simple effet, les sept autres, qui peuvent se diviser en deux groupes, savoir : quatre de première et trois de deuxième création, sont à double effet ; toutes cependant portent le cachet de la main habile qui les a touchées, et offrent les améliorations principales qui établissent leur prééminence sur toutes les machines anciennes.

Ces améliorations consistent :

1° Dans l'emploi d'un régulateur à piston tellement construit que les colonnes d'eau en mou-

(1) On peut consulter pour de plus amples détails, l'excellent ouvrage intitulé : *Metallurgische Reise in Baiern und Oesterreich*, Halle, 1821, par M. Karsten, qui a visité et décrit avec le soin qui lui est ordinaire les établissemens et les ouvrages d'art dont je n'ai pu donner ici qu'une idée bien imparfaite.



vement s'arrêten, et se meuvent sans secousses ni chocs, et que les orifices, tant d'admission que d'émission, sont assez grands pour éviter à la veine fluide des contractions et des vitesses excessives;

2° Dans l'idée d'emprunter à la colonne d'eau motrice la force nécessaire pour faire mouvoir ce régulateur avec une sûreté et une précision presque mathématiques;

3° A n'employer, lorsqu'elles sont destinées à élever de l'eau, qu'une seule pompe, quelle que soit la hauteur de la colonne de refoulement.

Il y a là un progrès tellement remarquable, qu'on peut dire que c'est du moment où on a pu mettre en œuvre des colonnes d'eau formidables que date l'application utile du grand et simple principe de notre immortel Pascal. M. de Reichenbach fera oublier Hoëll, Winterschmidt, et tous ceux qui, avant lui, ont construit, essayé ou projeté des machines de cette espèce; comme Watt, par l'emploi du condenseur, du modérateur à force centrifuge, du parallélogramme, etc., a laissé loin derrière lui les Newkomen, les Savery, et tous ceux qui avant lui ont appliqué la merveilleuse invention de Papin.

A Dieu ne plaise que je veuille établir la moindre comparaison entre les services réels rendus à la société par ces deux illustres mécaniciens, ni même entre le mérite de leurs inventions; mais au moins puis-je croire que M. de Reichenbach serait devenu le Watt de sa patrie, si l'Allemagne avait été aussi avancée en industrie que l'Angleterre, et si les mêmes questions se fussent agitées à la même époque dans les deux pays (1).

(1) Le génie mécanique de M. de Reichenbach s'est ré-

Le patronage de M. de Reichenbach, avec tout le poids de son expérience, dans la question d'art qui m'occupait alors, a été pour moi d'un prix inestimable; car indépendamment des plus précieux enseignemens, j'ai encore puisé auprès de lui, et j'ai pu faire partager à mes commettans, cette ferme confiance fondée sur la conviction du vrai, qui est une condition de succès dans les entreprises industrielles.

Application des observations recueillies en Bavière aux machines de Huelgoat.

Ayant accepté les idées et les principes de M. de Reichenbach, énoncés plus haut, c'est à lui que reviennent les dispositions générales et organiques des machines motrices importées à Huelgoat. Tout ce qui est exécution et application m'est tombé en partage, et je n'ai pas besoin de dire à ceux particulièrement qui se sont occupés de mécanique appliquée, combien encore cette tâche m'a présenté d'inconnues, de difficultés et de travail, par suite des conditions particulières auxquelles la solution du problème d'Huelgoat avait à satisfaire.

Conditions particulières du problème mécanique d'Huelgoat.

Ces conditions peuvent se résumer dans le parallèle suivant :

1° La machine d'épuisement destinée pour nos mines, devait avoir une puissance considérable,

---

vélé encore dans une foule d'autres circonstances que celles déjà citées. A Berchtesgaden et à Reichenhall on trouvait à chaque pas des traces de son fécond génie. Il a construit une belle machine hydraulique pour alimenter d'eau la ville d'Augsbourg, une machine à forer les canons pour le gouvernement autrichien, etc., etc. Il avait de grands projets encore que lui permettait de réaliser sa position de directeur général des ponts et chaussées, lorsque la mort est venue le frapper et l'enlever à la noble communauté des hommes utiles.

double au moins de celle de la machine d'Illsang. Or, on sait que les difficultés d'exécution et de pose dans ces sortes de constructions augmentent beaucoup plus rapidement que la raison simple de la force qu'il s'agit de développer, et qu'au delà de certaines limites, on rencontre des obstacles presque insurmontables.

2° Les machines de Bavière sont toutes placées au jour, dans un espace indéfini. Elles reposent sur un sol fixe, ainsi que les pompes qu'elles font mouvoir et les tuyaux qui en dépendent.

A Huelgoat, au contraire, ces objets ont dû être posés ou plutôt suspendus dans un puits, et, par conséquent, dans un espace très resserré, et, de plus, occupé en partie par une vieille machine qu'il était indispensable de maintenir provisoirement en fonction;

3°. Dans les machines de Bavière, l'appareil moteur est placé immédiatement au-dessus de la pompe foulante des eaux salées. A Huelgoat, la distance qui sépare ces deux parties l'une de l'autre est très grande. De là la double nécessité d'employer et d'équilibrer une longue tige, capable d'une résistance considérable, et partant fort pesante;

4° Ici toute la masse d'eau motrice étant amenée dans le centre de l'exploitation, il a fallu songer aux mesures de précaution propres à empêcher son infiltration lente ou son irruption soudaine dans les ouvrages inférieurs. Ainsi, des travaux de maçonnerie considérables sont devenus nécessaires pour assurer la solidité et l'imperméabilité que réclamaient certaines parties des aqueducs souterrains. On a fait encore divers autres muraillemens, tant pour assurer l'invariabi-

lité des points d'appui de la puissance, que pour servir de moyens de soutènement contre des parois ébouleuses dans les points les plus importans des excavations occupées par les machines et leurs accessoires.

Plan et limites de cette description.

Pour faire mieux sentir, par l'exemple que je cite, combien les questions de mécanique appliquée peuvent changer de face par l'introduction d'élémens nouveaux; même de ceux qui sont en apparence insignifians, il eût été bon de faire connaître ici, par une description complète et une représentation graphique, la machine d'Illsang, ce type auquel doivent se rattacher désormais les appareils de même nature que l'industrie des mines appliquera sans doute plus fréquemment à ses besoins; mais les limites que j'ai été contraint de me poser dans la rédaction de ce mémoire ne me le permettent pas : je me vois également forcé d'en retrancher les considérations théoriques sur lesquelles je me suis appuyé, les recherches auxquelles je me suis livré, les matériaux que j'ai recueillis de tous côtés, l'examen historique, statistique et critique des machines publiées ou construites en divers pays ; en un mot, les principaux élémens que je voulais primitivement y placer pour en faire un travail complet sur les machines à colonne d'eau.

Je me bornerai donc, pour le moment, à présenter la description pure et simple de l'appareil que je viens de faire établir à Huelgoat. Je la rendrai aussi complète que possible, parce que, à mon avis, ces sortes d'enseignemens pratiques sont d'une utilité beaucoup plus grande pour ceux qui sont appelés à mettre la main à l'œuvre, que les dissertations théoriques auxquelles, d'ailleurs,

chacun peut se livrer selon ses propres idées; les bons livres de théorie ne manquent pas, tandis que les documens d'une pratique éclairée sont rares; quant à moi, je n'en ai trouvé aucun lorsque j'en ai eu sérieusement besoin, et il m'a fallu courir au loin, pour voir la lumière auprès des œuvres de M. de Reichenbach. Je crois donc faire une œuvre de conscience, ou du moins remplir un devoir, en essayant de propager à mon tour les bonnes traditions que j'ai reçues et appliquées, et en présentant au mineur un résultat important sanctionné déjà par plus de trois années d'une heureuse expérience.

Considérations sommaires sur les principes et les élémens constituans des machines d'Huelgoat. — Caractères particuliers.

Avant de m'engager dans la description détaillée de notre nouvel appareil d'épuisement, je crois devoir présenter sommairement les considérations qui m'ont guidé dans le choix et la détermination des élémens principaux dont il se compose. Les personnes qui voudront prendre cet appareil pour sujet de leurs investigations théoriques, trouveront dans ce court exposé toutes les indications qui leur seront nécessaires.

Il a été décidé d'abord que l'on adopterait le système des machines à simple effet; les principaux motifs de cette préférence sont les suivans:

Les machines à simple effet, plus simples aussi sous le rapport des mécanismes que celles à double effet, sont toujours plus faciles à établir et à maintenir avec une parfaite stabilité, surtout quand on peut s'arranger de façon que la puissance s'exerce de bas en haut entre le sol ou un plan de pose invariable et le piston moteur. Cette disposition procure aussi l'inappréciable avantage d'avoir des cylindres découverts à leur partie supérieure, ce qui permet d'entretenir leur surface

intérieure d'un corps gras, de visiter le piston à tout instant, et d'apercevoir les moindres fuites qui pourraient se déclarer par suite d'usement des garnitures de cuir ; celles-ci, au surplus, durent fort long-temps, sous la salutaire influence d'un parfait graissage. C'est ainsi que le premier cuir, quoique marchant dans un cylindre neuf, a pu fonctionner pendant plus de trois années, sans laisser passer une goutte d'eau, sous une pression de $7\frac{1}{2}$ atmosphères.

Dans les machines à double effet, les tiges, tirans, axes, etc., en un mot tous les intermédiaires entre la puissance et la résistance, sont alternativement soumis à des efforts opposés qui tendent à désunir les assemblages et à occasioner dans toutes les parties du système des chocs et des vibrations très préjudiciables à leur durée et à la conservation des forces vives dépensées par le moteur.

L'expérience a appris d'ailleurs que les matériaux de construction (le fer, le bois) qui sont placés dans de telles circonstances, se détériorent progressivement, tandis qu'ils conservent leurs propriétés physiques, leur élasticité surtout, et restent, par conséquent, doués d'une force plus grande lorsque l'effort, quoique variable, est exercé constamment dans le même sens, celui de la résistance absolue. Ces observations tournent au désavantage des machines à double effet, pour lesquelles on est contraint de recourir à une augmentation notable dans les dimensions, et partant, dans le poids des diverses parties du mécanisme. Lorsqu'il s'agit de transmettre la puissance par refoulement à de grandes distances comme cela se voit souvent dans les mines, l'inconvénient que je viens de signaler s'aggrave encore en se compli-

quant de la difficulté matérielle d'assurer aux attirails, maîtresses tiges, etc., la rigidité nécessaire.

Je ne pousserai pas plus loin le parallèle entre ces deux espèces de machines, quoique je sache bien qu'il reste beaucoup à dire encore même en faveur de celles à double effet. Si je continuais cette discussion, qui m'éloignerait inutilement de mon sujet, j'arriverais à cette conclusion bien vague et sentie de tout le monde, c'est qu'il n'y a rien d'absolu dans la question, et que la préférence doit être donnée à l'une ou à l'autre de ces machines, selon les circonstances et les conditions auxquelles elles sont soumises. Je dirai cependant encore que le choix ne saurait être douteux dans les cas d'épuisement, pour les mines surtout où les engins doivent toujours être simplifiés le plus possible, où la surveillance, l'entretien, les moyens de pose et de réparations doivent être ménagés, facilités de toutes les manières.

Ces mêmes motifs m'ont décidé à n'employer pour l'épuisement qu'une seule pompe placée au fond de la mine, et accompagnée d'une colonne de tuyaux montans continus jusqu'à la galerie d'écoulement. Ayant de plus la conviction que le maximum d'effet utile doit être le résultat d'un système exempt de toute espèce de chocs, de contrecoups et de vibrations, qui détruisent si rapidement les machines les plus solides et dissipent la force, comme on voit l'électricité se perdre à travers des corps conducteurs, j'ai tenu à disposer cette pompe, relativement à la machine motrice, de telle façon que la transmission de la puissance à la résistance se fît en ligne droite, sans intermédiaire de balancier ni de levier d'aucune espèce.

Cette condition est remplie en suspendant le

cylindre de la machine dans le puits même, directement au-dessus du corps de pompe, et en réunissant les deux pistons d'une manière invariable par une maîtresse tige verticale.

L'absence de tout mouvement angulaire, la suppression du balancier, dont la *géométrie* est aussi difficile à l'exécution qu'elle paraît simple en théorie, la réduction des attirails à leur plus simple expression, par le rapprochement le plus grand possible entre l'appareil moteur et celui d'épuisement; enfin, l'emploi d'une pompe unique, tels sont donc les caractères distinctifs de notre système d'épuisement; je crois que ce sont autant d'améliorations qui réagissent d'une manière éminemment favorable, non-seulement sur l'effet utile, mais encore sur les frais d'entretien de toute nature de ce système.

Détermination de la puissance des machines et de leurs dimensions principales.

Après avoir ainsi fixé les dispositions générales de l'appareil, on s'est occupé de la détermination de ses dimensions principales, et, par conséquent, de l'appréciation exacte de la résistance, comme aussi de la force nécessaire pour la vaincre.

Quantité d'eau à épuiser. — Jaugeage.

La connaissance de la quantité d'eau à épuiser étant le point fondamental de la question, on a procédé au jaugeage de toutes les sources qui apparaissent dans les ouvrages souterrains. Cette opération, assez délicate en général, a été faite avec des soins particuliers, dans des saisons différentes, et d'après différentes méthodes, qui se sont réciproquement controlées. Tantôt on a disposé (quand on l'a pu) des espaces d'une capacité connue, qu'on a remplis; tantôt on a fait couler le liquide à mesurer dans un canal rectangulaire, à pente uniforme, et l'on a déterminé la vitesse du courant au moyen de corps flottans à la surface,

en ayant égard aux corrections indiquées par M. de Prony (1). Enfin on s'est servi avec avantage de l'écoulement par des orifices pratiqués en minces parois, d'une surface bien connue, et sous une hauteur de pression déterminée.

Ce dernier mode, d'une application commode et sûre, a fini par être exclusivement employé pour mesurer la quantité d'eau qui sort de la mine et qui, lorsque les machines fonctionnent, se compose de toutes les sources tant inférieures que supérieures au sol de la galerie d'écoulement (2).

Les observations ont été répétées souvent, et durant des périodes assez longues pour que les variations provenant du service irrégulier des machines n'exerçassent pas une influence notable sur les résultats. On a eu soin de constater aussi le niveau de l'eau depuis le fond de la mine,

(1) Recherches physico-mathématiques sur la théorie des eaux courantes.

(2) A cet effet l'on a placé à l'extrémité d'une tranchée à ciel ouvert et à parois bien dressées, qui termine la galerie d'écoulement, un barrage imperméable en planches, présentant dans le bas deux ouvertures garnies de plaques de cuivre amincies et percées vers le milieu de trous parfaitement circulaires. Un peu en arrière, du côté de l'eau, était fixée une règle ou échelle verticale bien divisée, dont le zéro correspondait exactement au centre des trous placés de niveau, et qui avait pour objet de montrer à chaque instant la hauteur de l'eau ou la charge sur le centre des trous. La grandeur et le nombre des orifices d'écoulement doivent être fixés d'après le volume des sources à jauger, de manière qu'il reste toujours en contre-haut le plus d'eau possible. Pour calculer les vitesses de la veine fluide, on s'est servi de la formule connue $v = 4,4291 \sqrt{h}$, et l'on a adopté la fraction 0,625 pour le coefficient de la contraction.

niveau qui, pour plus d'exactitude, devait être maintenu constant pendant la durée des observations.

La quantité d'eau sortant de la mine dans ces circonstances et dans l'hiver a été trouvée de 1$^{m.c.}$,959 par minute.

Une autre expérience a eu pour objet de jauger la quantité d'eau fournie par les sources supérieures à la galerie d'écoulement; on conçoit, en effet, qu'en la déduisant du total ci-dessus, on a pour différence le produit des sources inférieures ou la quantité d'eau à élever par les machines.

Les roues ayant été simultanément arrêtées, on a répété les observations à l'embouchure de la galerie, et l'on a trouvé que le volume d'eau qui s'écoulait alors n'était plus que de 0$^{m.c.}$,167 par minute.

Ce nombre, retranché du précédent, a donné pour les sources à épuiser la quantité de 1$^{m.c.}$,792 par minute, qui peut être considérée comme un maximum, attendu qu'elle est déduite d'expériences faites dans un moment où les filtrations ont atteint le point de leur plus grande abondance.

Limites de la profondeur à laquelle les machines doivent atteindre.

Un autre élément, non moins essentiel que le volume de l'eau dans une question d'épuisement, restait à fixer encore : c'est la profondeur de laquelle cette eau devait être élevée.

Les sources dont le volume vient d'être indiqué ne sourdent pas toutes du fond de la mine; on en a retenu une portion notable dans une galerie d'alongement supérieure poussée en recherches fort en avant du champ actuel de l'exploitation. Mais comme le filon est d'une contexture lâche et extrêmement fissurée, les travaux inférieurs

dessécheront bientôt complétement ceux de la région supérieure ; en sorte qu'il a été nécessaire d'admettre que toutes les sources seraient à élever du point le plus profond des ouvrages souterrains.

Les anciennes machines ne pouvaient maîtriser les eaux que jusqu'à 155 m. sous la galerie d'écoulement; cette limite pour le nouveau système d'épuisement a été portée à 230 mètres, d'après les supputations les plus probables sur le prolongement dans ce sens des colonnes métallifères. C'est donc de cette profondeur qu'il s'agit d'élever $1^{m.c.}$,792 d'eau par minute.

Le problème réduit à ces termes était encore indéterminé, tant sous le rapport dynamique que sous celui de l'exécution; et, en effet, il n'a pas encore été question des élémens qui constituent la puissance non plus que de la vitesse avec laquelle elle peut agir.

La force motrice des anciennes machines plus que suffisante pour les nouvelles.

Si l'on compare la résistance ci-dessus fixée à la force motrice disponible indiquée au commencement de ce mémoire, on reconnaît au premier coup d'œil dans celle-ci une prépondérance considérable, plus que suffisante pour contrebalancer toutes les résistances accessoires qui naissent du mouvement, et pour écarter toute crainte de la nécessité d'un renfort d'eau motrice.

Il était indispensable, pourtant, de préciser la fraction de cette force qu'il s'agissait d'utiliser, et pour cela de calculer la surface du piston principal pris pour inconnue définitive de la question; la hauteur de chute étant invariablement fixée et égale à la distance qui sépare la galerie d'écoulement de l'aqueduc supérieur, distance qui est exactement de 60 mètres.

La surface cherchée, de même que celle du

Limites de la vitesse dans les machines à colonne d'eau.

piston de la pompe, est évidemment fonction de la vitesse que l'on peut développer dans le genre de machines qui nous occupe. Cette vitesse ne peut pas être presque indéfinie, comme pour le cas où la puissance réside dans un fluide élastique. L'incompressibilité presque absolue ou la rigidité du liquide moteur est ici un obstacle insurmontable et devient même une cause énergique de destruction, ou d'immenses pertes de force, lorsqu'on veut outrepasser certaines limites que l'expérience a pu seule indiquer. Le moment n'est pas venu d'expliquer le moyen à l'aide duquel on parvient à amortir la force vive dont est animée une colonne d'eau en mouvement et à prévenir les chocs, qui sans cela seraient inévitables; mais je dois dire ici que ce moyen n'est efficace que lorsque la vitesse n'excède pas beaucoup 2 mètres par seconde. Je me suis bien assuré, par quelques approximations préalables, que cette condition pourrait être satisfaite dans notre appareil, où l'on n'a pu donner que 0m,38 (1) de diamètre intérieur aux tuyaux de chute, en imprimant au piston moteur une vitesse de 0m,30 par seconde à la montée en charge; la vitesse de descente, au moment de l'émission, peut être portée sans inconvénient à 0m,70. La course totale ayant été fixée à 2m,30, la durée des pulsations est de 10″,9, et leur nombre d'environ 5 ½ par minute.

Surface du piston de la pompe. Résistance principale.

Tel est aussi le jeu du piston de la pompe qui se meut solidairement avec le précédent; et

(1) La cause de cette sujétion est purement financière; il fallait tirer parti d'une grande quantité de tuyaux tout neufs (126), ayant 0m,38 de diamètre intérieur, que l'établissement possédait.

comme la quantité d'eau à élever est de $1^{m.c.},792$ par minute, il doit avoir pour surface $\frac{1,792}{5,5 \times 230} = 0^{m.q.},14$; en supposant toutefois que la pompe produise son effet théorique, ce qui est à peu près la vérité, comme on le verra plus loin.

La charge principale de la machine consiste donc en une colonne d'eau de 230 mètres de hauteur sur $0^{m.q.},14$ de base.

Résistances secondaires.

Il ne restait plus qu'à déterminer les résistances qui sont la conséquence ordinaire et inévitable du mouvement : elles sont de plusieurs sortes. Les unes se rapportent à l'inertie des masses, savoir : des pistons, de l'attirail et de la colonne d'eau montante. D'autres sont dues aux frottemens de toute espèce, soit des parties solides entre elles, soit de l'eau dans les diverses parties de l'appareil et même des molécules liquides les unes contre les autres. Il en est enfin qui naissent du choc de l'eau, tantôt dans les coudes des tuyaux, tantôt dans les points anguleux de l'appareil et dans ceux où le fluide change brusquement de vitesse en passant dans des espaces de capacités différentes; la quantité d'action perdue dans ces derniers cas est toujours fort grande, si l'on admet que pour les chocs elle doit être proportionnelle au carré de la vitesse.

On verra au surplus, dans le cours de la partie descriptive de la machine, que toutes les précautions ont été prises pour amoindrir ces résistances. Particulièrement en ce qui concerne l'eau montante, l'emploi d'une pompe unique, de tubulures, de soupapes et de tuyaux à sections égales et grandes relativement à la surface du piston ($0^{m.q.},056$ à $0^{m.q.},14$), ont été des moyens efficaces

pour atteindre ce but. Il est évident aussi que les frottemens des corps solides doivent être ici peu considérables ; ils se réduisent à ceux de deux pistons dans leurs cylindres et de deux tiges dans leurs boîtes à cuir.

Surface du piston de la machine. Quoi qu'il en soit, toutes ces résistances ayant été évaluées aussi exactement que possible, d'après les principes généralement admis aujourd'hui, puis rapportées à la tige du piston moteur, j'ai trouvé enfin que ce piston devait avoir une surface de $0^{m.q.},8177$, déduction faite de la tige qui a $0^{m.q.},0133$ de section : cela donne $1^{m},0287$ pour le diamètre intérieur du cylindre principal.

Eau dépensée, effet utile théorique. En se rappelant que le nombre de pulsations est de 5 ½ par minute et la course de $2^{m},30$, on trouve que la masse d'eau dépensée est de

$$0,8177 \times 2^{m},30 \times 5,50 = 10,34 \text{ mètres cubes.}$$

La hauteur de chute étant de 60 mètres, la force dépensée sera représentée par le produit de $10,34 \times 60$, ou près de 620 unités dynamiques, que je porterai à 631, en raison de l'eau nécessaire à la régulation.

Le produit analogue pour l'eau à élever est de $0,14 \times 2,30 \times 5,50 \times 230 = 407,10$. Le rapport de ce nombre au précédent, ou l'effet utile théorique de la machine, est donc exprimé par la fraction 0,646. Il est à regretter que ce résultat n'ait pas encore pu être vérifié par l'expérience ; cela tient à ce que, par suite de diverses circonstances provenant du fait de l'exploitation, la pompe de la machine déjà exécutée n'a pas pu être placée à sa limite de 230 mètres, mais seulement à 155 mètres sous la galerie d'écoulement.

Comme à ce point la machine produit 0,450 d'effet utile mesuré, on peut croire que lors de son entier achèvement il ne se trouvera aucune erreur négative sur le chiffre de 0,646, qui est relatif à ce cas.

L'excédant actuel de la puissance est amorti par un modérateur pratiqué au bas de la colonne de chute et qui étrangle considérablement la veine fluide : cet excédant deviendra actif à son tour, lorsque le puits ayant atteint le niveau de 230 m., la pompe pourra être descendue à ce point.

Une machine unique, construite d'après l'exposé qui précède, et capable, par conséquent, d'élever la quantité d'eau fixée par les jaugeages d'hiver, n'aurait cependant pas été suffisante pour assurer le service de l'épuisement et préserver le fond de la mine d'Huelgoat de toute nouvelle submersion ; condition impérieusement commandée par les circonstances actuelles de l'exploitation et la nécessité de descendre les travaux jusqu'au niveau de 230 mètres.

Nécessité de deux machines accouplées.

On conçoit, en effet, qu'ayant calculé les facultés de cette machine d'après l'hypothèse d'une action non interrompue, comme dans les strictes limites de sa vitesse et de la quantité de travail utile à produire, on restait exposé, sous ces trois rapports, à des mécomptes dont il importait de prévenir les fâcheuses conséquences. Ainsi, l'on sait que les machines les mieux construites éprouvent des dérangemens, exigent des réparations qui entraînent des temps d'arrêt quelquefois très longs, pendant lesquels l'eau envahit les travaux inférieurs, lorsqu'il n'y a pas de réservoirs assez vastes pour la recevoir.

D'un autre côté, le régime de la machine, basé

sur une vitesse de 2 m. par seconde dans les tuyaux de chute, est peut-être un peu forcé, surtout s'il fallait le continuer long temps de suite; car à ce taux on commence à observer dans la colonne d'eau quelques légers ébranlemens qui pourraient augmenter et devenir préjudiciables à la durée de l'appareil.

Enfin la quantité d'eau à épuiser dans un temps donné peut augmenter :

Soit momentanément, à la suite d'une saison exaordinairement pluvieuse, d'une suspension ou d'un ralentissement de la machine; d'un accident imprévu qui, malgré les précautions prises, occasionerait une irruption d'eau motrice dans les ouvrages inférieurs;

Soit d'une manière permanente, parce qu'en étendant les travaux souterrains selon la pente et la direction du filon, on ne peut manquer de rencontrer des sources nouvelles plus ou moins abondantes. C'est ainsi qu'en 1823 une galerie d'alongement, poussée en recherche vers le midi au niveau de 200 mètres sous le jour, rencontra la nouvelle colonne métallifère qui constitue le véritable avenir de la mine d'Huelgoat, mais en même temps donna issue à une source considérable retenue dans le filon derrière un interstice stérile, imperméable, et qui aurait infailliblement noyé la mine, si nous n'étions point parvenus à la maîtriser au moyen d'un serrement construit à la hâte dans la galerie en question (1).

Cette même masse d'eau est toujours devant

(1) M. Nailly, alors sous-directeur de la mine d'Huelgoat, a donné la description de ce travail dans une notice insérée dans la 2e série des *Annales des Mines*, tome VIII, p. 367.

nous, et il s'agira de la combattre dès que nous pourrons attaquer par sa base la colonne métallifère qui la renferme, c'est-à-dire dans un très petit nombre d'années. Il y a plus, des recherches qui sont dirigées perpendiculairement au filon actuel peuvent rencontrer des gîtes parallèles, dont les eaux viendront s'ajouter à la masse de celles qui sont à épuiser présentement.

Toutes ces considérations, et surtout les dernières, justifient pleinement, ce me semble, le parti que j'ai pris de fortifier l'appareil d'épuisement par la construction d'une machine d'aide égale en puissance et en tout semblable à la première, mais non solidaire avec elle; c'est-à-dire que chacune a sa colonne de chute, son régulateur, sa pompe et sa colonne montante.

En les faisant marcher simultanément, on a l'avantage de pouvoir diminuer de moitié la vitesse et d'éloigner ainsi les chances de dérangement et de suspension pour chacune d'elles. Cependant lorsque, pour une cause quelconque, l'une des machines sera arrêtée, l'autre reprendra sa vitesse maximum et sera forcée de faire seule l'épuisement. Elle n'y suffira plus toutefois, lorsque l'eau intérieure aura augmenté par suite de la rencontre de nouvelles sources ainsi que je l'ai expliqué plus haut; mais alors, l'exploitation qui aura marché de bas en haut dans les massifs nouveaux, ne sera plus exclusivement reléguée, comme aujourd'hui, dans le fond de la mine, et il existera déjà au niveau de 230 mèt. des vides suffisans pour recevoir la quantité d'eau qui dépassera les facultés d'une seule machine, mais qui sera bientôt enlevée lorsque la seconde aura pu être remise en mouvement.

Coup-d'œil général sur le nouveau système d'épuisement.

Après l'exposé qu'on vient de lire des principes et des observations, sur lesquels j'ai fait reposer l'organisation de notre nouveau système d'épuisement, il ne sera pas inutile, je crois, pour mieux fixer les idées, de donner ici un aperçu de ce système considéré dans son ensemble ; je serai mieux compris lorsqu'ensuite je décrirai ses divers élémens.

L'appareil complet se compose de deux machines à simple effet, mais non solidaires. Il doit élever par minute 3^m.c.,58 d'eau à une hauteur de 230 mètres, et dépenser dans le même temps une quantité d'action représentée par 1.260 unités dynamiques, ou par 21 mètres cubes d'eau tombant de 60 mètres de hauteur, force énorme et réellement disponible pendant une grande partie de l'année. Son effet utile est, d'après cela, de 0,646.

L'eau motrice est amenée, depuis le jour jusqu'au point où elle doit être mise en travail, par un aqueduc souterrain construit en maçonnerie et terminé par un grand bassin d'épuration dans lequel se fait la prise d'eau des colonnes de chute.

Celles-ci sont placées dans un puits particulier, muraillé aussi sur une partie de sa hauteur, à partir de son couronnement, et qui, à son extrémité inférieure, est mis en communication avec le puits principal au moyen d'une vaste galerie horizontale, dans laquelle les tuyaux de chute se replient vers les machines situées dans ce dernier.

Les deux cylindres principaux sont accolés et fixés verticalement sur un même support qui consiste en un pont de fonte de fer jeté sur le vide du puits, et s'appuyant par ses extrémités sur deux fortes culées de maçonnerie, soutenues elles-mêmes par deux voûtes.

Les pistons, dont les tiges traversent, au centre, les bases des cylindres, reçoivent de bas en haut l'impulsion de la puissance, qui prend ainsi son point d'appui sur le pont de support.

Chaque machine porte auprès d'elle un *régulateur*, destiné comme d'ordinaire à régulariser l'intermittence de l'admission et de l'émission de l'eau motrice. Le puits, dans la partie occupée par les machines, a été élargi et muraillé.

A chacune des tiges du piston est attelée une série de tirans descendant verticalement dans le puits, et fixée par son extrémité inférieure à la tige du piston de la pompe qui est unique pour chaque machine.

L'eau est donc refoulée d'un seul jet depuis le fond de la mine jusqu'à la galerie d'écoulement, savoir, de 230 mètres de hauteur dans une colonne verticale de tuyaux montans en fonte, placée à côté de l'attirail, directement au-dessus d'une chapelle à deux soupapes. Celle-ci est en communication avec la partie supérieure, fermée, du corps de pompe par une tubulure latérale qui sert au passage de l'eau aspirée et refoulée.

La galerie d'écoulement qui reçoit et éconduit les eaux motrices et intérieures, est muraillée sur une partie de sa longueur. Elle aboutit dans le flanc du puits, au-dessus du point où les machines sont fixées.

Cette disposition, qui présente un obstacle à la libre émission de l'eau motrice, a donné le moyen de contrebalancer le poids de l'attirail par celui d'une colonne d'eau, ayant pour hauteur la distance qui sépare le sol de la galerie d'écoulement du plan de pose des cylindres, et pour base la surface du piston.

Division adoptée pour la description de l'appareil d'épuisement.

Je passe maintenant à la description détaillée de l'appareil dont je viens de donner une idée générale. Cette description, qui doit s'étendre aussi à tous les travaux accessoires, comprendra quatre parties :

1° Les machines proprement dites, les colonnes de chute, le bassin de prise d'eau ;

2° Les pompes élévatoires, ainsi que les chaînes ou maîtresses tiges qui les rattachent aux machines motrices ; enfin, le balancier hydraulique employé pour équilibrer le poids desdites chaînes ;

3° Les supports et la pose de toutes les parties de l'appareil, les diverses mesures prises pour en écarter autant que possible toutes chances de dérangemens, de détériorations et d'accidens quelconques ;

4° Les ouvrages souterrains nécessités par l'établissement du nouveau système d'épuisement, surtout les maçonneries exécutées dans ces ouvrages tant comme moyen de support et de soutènement, que pour empêcher les filtrations des eaux motrices vers les travaux inférieurs de l'exploitation.

Ire PARTIE. — *Machine motrice, colonne de chute, bassin de prise d'eau.*

Machine motrice.

Le grand cylindre Y (*Pl. I*), dans lequel se meut le piston principal P porte, à son extrémité inférieure, une tubulure T, qui sert alternativement à l'introduction et à l'émission de l'eau motrice. Ce piston P est poussé de bas en haut avec toute sa charge dans le premier cas, et il redescend sous un excédant de poids dans le second; ainsi pour assurer la continuité de son mouvement alternatif de va-et-vient, il faut régulariser l'intermittence de ces deux fonctions.

Dans la plupart des anciennes machines, dans celles de Hoëll particulièrement, on obtenait cet effet par l'emploi d'un robinet à trois orifices, placé dans le tuyau de communication entre le cylindre et la colonne de chute; mais ce moyen, qui présente de graves inconvéniens pour les grandes machines surtout, doit être abandonné et remplacé dorénavant par le régulateur à piston que je vais décrire ci-après, et qui est pour ainsi dire l'âme de la machine.

Régulateur à piston.

La tubulure T est adaptée contre une pareille que présente une pièce HH', composée de plusieurs cylindres ayant un même axe, et interposée verticalement entre le cylindre principal Y et la colonne de chute. Dans cette pièce aboutissent, à distances égales de la tubulure T', mais du côté opposé, deux tuyaux horizontaux O, S; le premier, qui termine inférieurement la colonne de chute, est, à proprement parler, le tuyau d'admission; le second, qui communique avec la galerie d'écoulement, est le tuyau d'émission. Un

piston R fonctionne dans l'intérieur de cette pièce, et peut venir se placer alternativement dans les deux espaces cylindriques *bc* et *b' c'* égaux en hauteur et en diamètre, et symétriquement placés par rapport à la tubulure T'.

Dans la première de ces positions la communication entre le tuyau d'émission et le cylindre principal Y est fermée, tandis que le piston P, mis en rapport avec la colonne de chute, exécute en conséquence son mouvement ascensionnel. Dans la seconde position, au contraire, l'admission de l'eau motrice est interdite et l'émission favorisée; le cylindre se vide et le piston P redescend.

Le piston R pourra donc être regardé comme le régulateur de la machine, dès le moment où il aura reçu lui-même les lois d'un mouvement facile et régulier pour aller occuper successivement et en temps opportun les espaces *b c* et *b' c'*.

Il semblerait que ce piston, qui est constamment pressé de haut en bas par la colonne de chute, exige l'emploi d'une force considérable, soit pour être déplacé de bas en haut, soit pour conserver au moment de sa descente une vitesse modérée : mais cette double difficulté a disparu devant l'artifice simple et ingénieux que je vais indiquer.

Un nouveau piston J, assemblé sur la tige prolongée du premier, se meut dans un cylindre particulier placé en contre-haut du tuyau d'admission. Il est presqu'inutile de dire que tous ces cylindres H', *b c*, *b' c'* sont rigoureusement alésés sur le même axe. La surface inférieure de ce piston J étant sans cesse en présence de la colonne motrice, il s'y développe une force permanente qui agit de bas en haut, c'est-à-dire en sens contraire

de celle qui sollicite le piston régulateur; ainsi, en négligeant pour un moment les frottemens et le poids de ce système de pistons, il y aurait équilibre entre eux si leurs diamètres étaient égaux; dès lors la moindre dépense de force serait suffisante pour déterminer et modérer à volonté le mouvement du piston régulateur.

Mais les choses n'ont pas été disposées tout-à-fait ainsi; le diamètre du cylindre H' est un peu plus grand qu'en *bc*, *b' c'*, de telle sorte que les pressions exercées sur les deux pistons opposés n'étant plus égales, il y a résultante dans le sens du plus grand, et partant, mouvement ascensionnel; lors donc que le système est abandonné à lui-même, le piston R va se placer dans l'espace *bc*, et y reste jusqu'à ce qu'il soit sollicité par une combinaison de forces nouvelle.

Il s'agit pour obtenir le mouvement inverse de détruire la résultante ascensionnelle et de la remplacer par une autre dirigée en sens contraire. Or, ce but est rempli tout simplement en appliquant (dans le moment opportun) une force plus grande que cette résultante sur la surface supérieure du piston d'aide J.

Cette force est momentanément empruntée à la colonne de chute; à cet effet une prise d'eau est faite en *a'*, au moyen d'un petit tuyau qui aboutit en *o* à la partie supérieure du cylindre H'. Celui-ci est fermé par une boite à cuir, dans laquelle passe, à frottement doux, un manchon ou grosse tige K, fixée sur le piston J, et qui a pour objet de diminuer la surface supérieure de ce dernier pour ne laisser exposée à la pression hydraulique qu'on se propose d'exercer dans l'intérieur de

l'annulaire *w*, que la partie de cette surface déterminée par les conditions de descente du système.

Cette descente s'effectue dès que l'on donne accès à l'eau motrice dans l'annulaire *w*, au moyen du tuyau $a a_1 a_2 a_3$. Elle ne cesse que lorsque le piston R est venu occuper l'espace *b c'*, ce qui constitue la seconde partie de la régulation.

Pour ramener ensuite les choses dans leur premier état, c'est-à-dire pour faire remonter le piston R dans la position *bc*, il faut non seulement interdire la communication entre la colonne de chute et l'espace annulaire, mais encore présenter une libre issue à l'eau dont cet espace est rempli. C'est par les tubes $e e_1 e_2 e_3$ que cette eau peut s'échapper et gagner le tuyau d'émission. Dès lors le système des pistons R et J, remontera spontanément comme il a été dit, et le cylindre principal se videra.

Petit appareil hydraulique pour régler le jeu du régulateur principal.

Tout se réduit donc, pour obtenir les deux fonctions du régulateur, à faire parvenir un filet d'eau motrice dans l'annulaire *w*, ou à vider ce dernier alternativement et en temps utile. Un robinet à trois orifices, placé en avant de la petite tubulure *o*, aurait pu satisfaire à ces conditions; mais ici encore la préférence a été donnée à un petit régulateur à pistons disposé d'après les mêmes principes que celui R J K.

Ainsi, un cylindre vertical *ei* muni de deux tubulures latérales *a*, *o*, renferme deux pistons *p*, *p'* assemblés sur la même tige, et placés de telle manière qu'ils sont toujours pressés en sens contraire par l'eau motrice, qui est en permanence au point *a*; le piston *p* est de plus assujetti à prendre position alternativement au-dessus et au-dessous de la tubulure *o*. Dans le premier cas,

l'espace annulaire *w* peut se vider; dans le second, au contraire, la communication est établie entre ce même espace et la colonne de chute.

Le piston *p'* est surmonté d'une grosse tige ou noyau qui remplit le même office que son analogue dans le grand régulateur, et qui, comme lui, passe à travers une garniture de cuir fixée au haut du cylindre *e'i*. Un petit tube *u* sert à transmettre la pression de la colonne motrice sur la partie libre de la surface supérieure du piston *p'*. Cette force additionnelle (qui équivaut à peine à 30 kilog.) a pour objet de contrebalancer une pression pareille exercée de bas en haut sous le piston inférieur *p*, dans le tuyau d'émission, et qui résulte de la position du cylindre principal Y à 14^m,20 sous la galerie d'écoulement.

La question vitale de la machine trouve donc une solution aussi simple que complète dans le mouvement bien ordonné des petits pistons pp_1, que la main d'un enfant peut déplacer. Quand on les fait monter, le régulateur principal monte aussitôt après; il y a émission dans le grand cylindre, et le piston P s'abaisse. Quand, au contraire, on les oblige à descendre et à occuper la position indiquée (*Pl. I*), le grand régulateur descend à son tour et le piston moteur monte; il y a admission.

Le jeu de la machine est ainsi parfaitement assuré, en admettant toutefois qu'il y ait un moyen facile et sûr pour faire fonctionner le petit appareil en temps opportun.

On conçoit tout d'abord que c'est le grand piston P qui doit donner le signal du mouvement et fournir la très petite force nécessaire pour le

Mécanisme qui règle les fonctions du petit appareil.

produire. Un mécanisme très simple remplit ce double objet.

Le système des petits pistons est suspendu à une tige articulée en *t*, qui, passant à travers la pièce *v″v″*, aboutit à un premier levier *v′ t*, ayant son point d'appui en *v′*; un second levier *ss′*, qui tourne autour de l'extrémité *s′* d'un montant (consolidé par les pièces *z* et *v″v″*), est relié au premier *v′t* par un petit tirant *t′*, et terminé à son autre extrémité par un secteur *s* maintenu dans son mouvement par un guide fourchu qui se projette verticalement en *vv′*. Deux crochets ou mentonnets, 1 et 2, en saillie sur l'arc de cercle, sont fixés en sens inverse, sur les deux faces planes opposées de ce secteur. En projection horizontale ils apparaîtraient écartés l'un de l'autre de toute l'épaisseur du secteur. Ces leviers sont combinés de manière à procurer au piston *p* la levée nécessaire; le levier inférieur serait devenu superflu si l'on avait pu ménager un espace suffisant entre le cylindre Y et la pièce HH′ pour établir le rapport voulu par la course de *p* entre les deux bras du seul levier *ss′*.

D'un autre côté, le piston principal P a reçu en *f* un sabot en fer dans lequel vient s'assembler à vis une tige de fer verticale *dd′*. Cette tige est guidée dans le haut par deux colliers *g,g,*, qui font partie d'une pièce unique *g,g,g,* (voyez *fig.* 1, 2, 3 *Planche I*), fixée par deux pattes sur la bande arquée en fer *hh*, qui porte aussi la pièce fourchue déjà citée *vv′*.

La tige *d d′*, qui est ronde, est munie longitudinalement et du côté du régulateur d'une tringle rectangulaire bien dressée, dont l'épaisseur est égale à celle du secteur *s*, auquel elle est et reste

tangente pendant toute la course du piston R (il est bien entendu que les colliers g, g_1, qui guident la tige, sont échancrés pour donner un libre passage à la tringle en question).

Deux cames, 3 et 4, sont fixées, en position inverse et au moyen de vis, sur les deux faces opposées de la tringle, qui, à cet effet, porte une série de trous, à l'aide desquels on peut faire varier la distance d'une came à l'autre. Celles-ci correspondent d'ailleurs respectivement aux mentonnets 1 et 2 du secteur.

Voici maintenant le jeu de ce mécanisme : lorsque le piston P, obéissant à la pression de l'eau motrice, s'élève dans son cylindre avec la tige *dd'*, la came 3 rencontrant le mentonnet correspondant du secteur, l'entraîne avec elle, et, par suite, fait monter les petits pistons *pp'*. Mais bientôt, par suite du mouvement angulaire de ce dernier, il y a échappement, et le piston P achève sa course pendant que la régulation ascendante s'opère pour fermer le tuyau d'admission et favoriser l'émission.

Un instant après le piston P redescend; mais cette fois la came 3 ne rencontre plus le mentonnet qui lui correspond, et qui, après son échappement, était demeuré immobile. C'est au contraire la came 4 qui accroche le mentonnet 2, lequel s'est avancé vers la tringle en même temps que l'autre s'en était éloigné. Le secteur redescend, et avec lui les petits pistons, qui viennent reprendre la position indiquée à la *fig.* 1. A ce moment, il y a nouvel échappement, et le piston P continue à descendre jusqu'à la limite inférieure de sa course pendant que s'effectue la régulation qui a pour objet de le mettre de nouveau en rapport

avec la colonne de chute, et lui faire commencer une nouvelle pulsation.

Principe de cette régulation.

Le système de régulation que je viens de décrire, et qui assure la continuité du mouvement de la machine, repose sur l'idée aussi neuve qu'heureuse d'emprunter directement à la colonne motrice elle-même la petite provision de force dont tout régulateur doit être doté pour fonctionner en dehors de l'impulsion immédiate du piston principal. Ce magasin de forces, sans lequel le piston s'arrêterait indubitablement au moment d'atteindre les limites de sa course et de franchir ses points de rebroussement, a été placé pour d'autres appareils à colonne d'eau ou à vapeur, tantôt dans des masses plus ou moins pesantes, que la machine élève pour les laisser retomber, tantôt dans l'action de ressorts, de volans, etc. Notre moyen, qui réunit à une grande simplicité le mérite de se rattacher au principe hydraulique fondamental de la machine elle-même, possède aussi l'avantage de présenter toute facilité pour modérer ou accélérer autant que l'on veut le mouvement du piston régulateur.

Moyen de faire varier la course du piston moteur.

Ces changemens de vitesse, qui sont infiniment précieux pour faire varier à volonté et avec une rare précision la course du piston moteur, s'obtiennent avec le secours de deux robinets modérateurs a_2, c ; le premier sert à étrangler plus ou moins la veine fluide qui pénètre dans l'annulaire *w*, l'autre produit le même effet sur cette veine au moment de son émission. Ces robinets sont à cet effet munis l'un et l'autre de clefs ou manches (non représentés sur le dessin), que le machiniste peut tourner à la main lorsqu'il le juge nécessaire, et qui sont pour lui un véritable gouver-

nail. Ils fournissent aussi un moyen facile d'arrêter la machine : quand, en effet, le piston R est arrivé au milieu de sa course ascensionnelle et se trouve placé par le travers de la tubulure T T', il suffit de fermer le robinet *e* pour faire cesser instantanément tout mouvement dans la machine; on la remettra en train avec la même facilité en rouvrant le robinet *e*. On obtient un résultat semblable dans la marche opposée du piston R, mais alors il faut fermer le robinet a_1.

Moyen d'arrêter la machine.

Mais là ne se bornent pas les avantages de notre régulateur à pistons. Il est une autre disposition d'une haute importance qui le distingue pardessus tout, et que j'ai signalée déjà, à propos des machines de Bavière, comme un moyen efficace de prévenir les chocs qui se manifestent toutes les fois qu'il s'agit d'arrêter de hautes colonnes d'eau en mouvement dans le sens de la gravité, ou lorsqu'on veut soulever brusquement de pareilles colonnes quand elles sont à l'état de repos.

Dispositions capitales du régulateur bavarois.

Cette disposition capitale consiste simplement à donner au piston régulateur une forme et un mouvement tels qu'il ne ferme pas tout à coup, mais seulement par degrés insensibles, les orifices d'admission et d'émission.

Le piston R est un cylindre creux en bronze assez bien tourné et rodé pour remplir exactement les espaces $b\,c$, $b'\,c'$ parfaitement cylindriques aussi. Au milieu, sur une hauteur $x'\,x_1$, un peu plus grande que celle $b\,b'$ de la tubulure T', la surface extérieure est pleine et unie; mais à chacun des bouts, sur le reste de sa hauteur, il présente huit entailles ou cannelures cunéiformes $x'\,x''\ldots x_1\,x_2\ldots$ qui ont leurs têtes $x''\,x_2$ rangées sur le pourtour des deux bases du piston.

Lorsque la régulation s'effectue, en montant par exemple, on voit que le piston R, qui occupait $b'c'$, après avoir cheminé à travers la tubulure T', va présenter sa surface supérieure à l'entrée du cylindre bc: à ce moment le mouvement de la colonne de chute serait arrêté si le piston était uni; mais les cannelures offrant encore une issue à l'eau, celle-ci continue à pénétrer dans la tubulure en quantité toujours décroissante, jusqu'à ce que les sommets x' des cannelures soient eux-mêmes engagés dans le cylindre bc. C'est alors seulement que le piston P arrive à la limite supérieure de sa course, et que la colonne de chute reprend l'état de repos. Mais comme presqu'au même instant les sommets $x_{,}$ des cannelures inférieures atteignent le bord b' de la tubulure, l'émission commence, et, partant aussi, la descente du piston P, dont le mouvement s'accélère à mesure que les cannelures $x_{,}x_{,}$ se dégagent, et surtout quand la base inférieure du piston R s'élève au-dessus du point b' et atteint le point b terme de sa course.

Immédiatement après, commence la régulation en descendant : ainsi l'émission de l'eau du grand cylindre se ralentit dès que le piston R qui rétrograde atteint le point b', et elle cesse bientôt tout-à-fait quand la partie $x_{,}x_{,}$ de ce piston s'est entièrement logée dans l'espace $b'c'$. Mais alors aussi apparaissent dans la tubulure les sommets x' des entailles supérieures, et avec elles les premiers filets d'eau motrice; il y a admission : c'est ce qu'exprime la *figure* 1 de la *Pl. I*, où le piston P, mis en contact avec la colonne de chute, a commencé son ascension. La vitesse, très petite d'abord, augmente graduelle-

ment en raison des sections de débit toujours croissantes que les cannelures présentent successivement à l'eau motrice, et se trouve à son maximum quand ces dernières sont entièrement dégagées; le piston R regagne bientôt le bord inférieur de la tubulure, point de départ.

Importance des avantages attachés à une régulation graduée.

On voit par ces détails, sur lesquels je me suis appesanti à dessein un peu longuement, que le piston régulateur disposé comme il l'est, opère dans chacune de ses fonctions, tant en montant qu'en descendant, de deux manières également favorables à l'effet et à la conservation matérielle de la machine :

1° Il anéantit peu à peu, mais vers la fin de la course seulement, toute la vitesse dont le piston moteur est animé;

2° Il dispose ce dernier à reprendre sa marche rétrograde par degrés insensibles et sans vitesse initiale.

De là il résulte que la puissance n'agissant jamais d'une manière brusque sur le piston, et par conséquent sur la résistance, il n'y a jamais de chocs, lorsqu'il s'agit de faire sortir de l'état de repos les masses à mouvoir tant solides que liquides : il en est de même quand ces masses en mouvement, et en particulier la colonne de chute, reprennent leur immobilité.

Ces effets sont analogues à ceux que l'on produit avec des corps élastiques, avec des réservoirs d'air, par exemple, qui en pareille occurrence sont employés quelquefois et conseillés dans l'intérêt du principe de la conservation des forces vives. Je dois dire toutefois que ce moyen, bon et vrai en théorie, offre dans la pratique, et surtout pour les puissantes machines, de grands inconvé-

niens; aussi a-t-il été bientôt abandonné en Bavière, où l'on y avait songé, parce qu'il ne présentait pas à beaucoup près la sûreté et la constante efficacité de celui que je viens de décrire. Les bons effets de ce dernier sont au surplus clairement démontrés par l'exemple de la machine d'Huelgoat, dans laquelle il est impossible d'apercevoir sur aucun point la moindre manifestation matérielle de force vive, de chocs, de contre-coups et de vibrations. Les mouvemens s'y effectuent partout avec un moelleux et un silence que je n'ai encore observé dans aucune autre machine.

Ces excellens résultats sont dus à l'application d'une idée tellement simple qu'elle semble avoir été sentie par tout le monde, sans que pourtant elle ait été émise et exécutée par personne. Du reste, il n'y a pas lieu de s'étonner d'un tel retard qui est sans doute un effet de l'inertie propre à l'esprit humain comme aux choses; car combien n'y a-t-il pas de procédés ingénieux, d'inventions de la plus haute importance qui reposent ainsi sur des *riens*, sur des traits de lumière ou sur les combinaisons les plus simples de l'intelligence(1)!

(1) Je ne prétends pas, au surplus, préconiser les pistons cannelés d'une manière absolue; je pense au contraire qu'il peut y avoir d'autres manières de satisfaire au principe sur lequel repose tout bon système de régulation, à savoir : que les orifices, ou vitesses d'écoulement, diminuent par degrés insensibles jusqu'à zéro, vers la fin de la course du piston moteur. Ainsi un piston sans cannelures qui tout près de la fin de sa course ferait un temps d'arrêt, ou se mouvrait avec une très petite vitesse, pourrait également offrir les avantages énoncés ci-dessus. Il n'y aurait pas non plus de chocs, si le régulateur se mouvait très lentement; mais cette excessive lenteur serait elle-

Autre avantage des régulateurs à pistons.

Le régulateur à pistons, qui sera sans doute partout substitué au robinet employé dans les anciennes machines, présente encore un avantage que je ne dois pas laisser inaperçu : il permet d'employer un orifice d'admission aussi grand que l'on veut, égal du moins en section à la colonne de chute, et par conséquent de diminuer autant qu'on veut la vitesse de l'eau motrice.

Dimensions à donner au piston régulateur.

Si le diamètre du piston régulateur proprement dit est arbitraire, il n'en est pas de même de sa longueur, non plus que du nombre et des dimensions des cannelures qui le terminent. Je confesse qu'à cet égard je ne saurais donner aucune indication rationnelle, et que j'ai moi-même suivi les seuls enseignemens de la pratique ; je dirai cependant que la longueur du piston doit être au moins triple de la hauteur de la tubulure, et qu'en général elle doit augmenter, de même que le nombre et la profondeur des entailles, avec le volume des eaux motrices et la vitesse que l'on veut donner à l'appareil.

La détermination des diamètres du piston d'aide et du manchon qui le surmonte est soumise

---

même un inconvénient grave. On pourrait peut-être aussi amortir la force vive de la colonne de chute avec une régulation rapide, en donnant issue, au moment de la clôture, à une certaine quantité d'eau par un orifice *ad hoc* muni d'un robinet qui serait mu par la machine. Cet artifice qui, à la vérité, tend à diminuer l'effet utile, donnera peut-être le moyen de construire des machines marchant à grandes vitesses et propres par conséquent aux nombreuses applications qui demandent un mouvement de rotation. Je me propose de faire incessamment diverses expériences selon ce but qui est digne d'une sérieuse attention.

à des règles beaucoup plus positives, et rentre même tout-à-fait dans le domaine de l'analyse. Après avoir fixé la vitesse moyenne de la régulation et arrêté les principales dimensions des pièces qui s'y rapportent, on cherche et on exprime algébriquement les forces qui sollicitent le système des pistons, tant en montant qu'en descendant, ainsi que les diverses résistances hydrauliques et autres (qui seront évaluées en pression d'eau et rapportées aux tiges des pistons); on arrive ainsi à deux équations, au moyen desquelles on détermine les deux inconnues de la question.

Ordinairement cette première approximation suffit; mais si l'on veut plus de précision encore, on partira de ces premiers résultats pour en obtenir de nouveaux qui suffiront à toutes les exigences de la pratique (1).

En général, il vaut mieux pécher par excès que par défaut dans l'évaluation des résistances qui sont opposées à la régulation, parce qu'au moyen des petits robinets modérateurs on peut se rendre maître d'une résultante trop grande dans l'un et

---

(1) Dans toutes les machines de Bavière, au lieu du manchon K on fait usage d'un troisième piston assemblé sur le même axe que les deux autres, et qui pour notre machine se serait trouvé au-dessous du piston R; une telle disposition, bonne pour certaines circonstances locales, avait le grave inconvénient de rejeter le mécanisme vital du régulateur au-dessous de la tubulure T′ et de la pièce HH′, c'est-à-dire dans une région incommode et obstruée par le tuyau montant de la pompe. J'ai donc préféré le manchon qui, entre autres avantages, avait celui de placer le machiniste dans une position favorable à la surveillauce et à l'entretien des parties délicates de l'appareil. On facilitait beaucoup aussi de cette manière la visite et la réparation des pistons.

l'autre sens. Il n'y a là d'autre inconvénient que celui de dépenser inutilement un peu plus d'eau motrice, mais cette dépense est toujours si petite relativement à celle qui se fait dans le cylindre principal, qu'elle peut être négligée. Dans notre machine, en effet, on voit que pour une consommation d'eau de 1$^{\text{m.c.}}$,880 faite sous le grand piston, on n'injecte dans le vide annulaire du régulateur qu'environ 0$^{\text{m.c.}}$,033, et qu'une économie de moitié, par exemple, sur cette quantité, serait tout-à-fait insignifiante.

Modérateur pour faire varier la course de la machine.

J'ai expliqué comment on peut faire varier la course du piston principal, soit en changeant la distance qui sépare les deux petites cames fixées sur la tige dd', soit, ce qui est préférable, en modifiant la vitesse de la régulation. Mais il fallait de plus, pour se rendre parfaitement maître du jeu de la machine, un moyen pour modifier la vitesse de la course du même piston, et régler par conséquent le nombre des pulsations de la machine. On parvient à ce but au moyen de modérateurs ou valves circulaires V, V' placés dans les tuyaux d'admission ou d'émission $O_{,}$, $S_{,}$, et emmanchés sur des axes de rotation verticaux qui traversent les parois supérieures desdits tuyaux. Chacun de ces axes est emprisonné dans une petite boîte à cuir W, W', et porte à son extrémité un secteur denté $y_{,}$, $y'_{,}$, qui engrène avec une vis sans fin munie d'une manivelle. Lorsqu'on veut faire varier la vitesse de la montée du piston P, on tourne la valve V; quand c'est au contraire la vitesse de descente qu'il s'agit de modifier, c'est à la valve V' du tuyau d'émission que l'on s'adresse. Il est presque inutile de dire que l'on ferme les valves pour ralentir, et qu'on les ouvre pour accélérer le mouve-

ment. Celle d'admission est presque entièrement fermée dans ce moment, parce que la machine, calculée dans la supposition d'une pompe placée à la profondeur de 230 mètres, ne fonctionne encore qu'à celle de 170 mètres.

Dispositions accessoires.

Ces considérations sur les modérateurs complètent la description de toutes les parties organiques ou principales de la machine. Il ne me reste plus, pour terminer ce qui la concerne, qu'à parler de plusieurs dispositions qui, pour être secondaires, ne demandent pas moins d'être mentionnées; quelques détails d'exécution sur les pistons, les boîtes à cuir, etc. ne seront pas inutiles non plus.

Les pièces U et I ont pour objet de limiter en haut et en bas la course du régulateur RJK. Lorsque le manchon K arrive à la limite supérieure de sa course, il serait bien, à la rigueur, arrêté contre le fond de la boîte à cuir H''; mais comme les boulons qui le fixent sur le piston d'aide J pourraient se fatiguer et se détériorer à la suite de ces rencontres répétées, il m'a paru préférable d'arrêter le manchon par son sommet couronné d'un plateau K', contre la traverse d'une potence en fer (*fig.* 5) fixée sur la pièce H''. Cette potence U, pour plus de précaution, est munie d'une boîte en tôle, composée de deux parties U U', pouvant rentrer l'une dans l'autre, dans laquelle se trouve en U'' (*fig.* 1) un matelas élastique en liége.

D'un autre côté, le plateau e,e_4 qui ferme en bas la pièce H'H'', porte à son centre un godet I toujours plein d'eau, dans lequel vient s'engager et se poser une béquille qui se trouve sous le piston R, lorsque celui-ci descend; l'eau qui s'é-

chappe alors avec peine du godet devient un obstacle assez grand pour amortir sans choc le mouvement du régulateur.

Un moyen semblable a été employé dans le cylindre principal pour le cas où le piston P viendrait à dépasser le bord supérieur de la tubulure T, limite ordinaire de sa course. Une cuvette Z, qui est assujettie par des boulons sur le milieu de la base du cylindre, reçoit alors une couronne en plomb de même diamètre Z', qui est fixée en contrebas du moyeu central du piston P, et le mouvement s'arrête sans choc apparent.

Au surplus, ces diverses dispositions sont plutôt des mesures de prudence que des nécessités; en Bavière on n'y a pas recours. En les indiquant, j'ai eu aussi pour but de faire connaître un artifice qui peut recevoir d'utiles applications dans la construction des machines hydrauliques, lorsqu'il s'agit de prévenir des chocs là où des réservoirs d'air ni d'autres corps élastiques ne peuvent pas être employés.

Lorsqu'il est question de remettre la machine en mouvement (après une réparation qui avait forcé de la vider entièrement), on éprouverait de la part de l'air contenu alors dans toutes les parties de l'appareil de grandes contrariétés, si l'on n'avait pas un moyen facile de s'en débarrasser. Deux vis creuses, avec trou latéral, ont été adaptées à cet effet sur le piston moteur, l'une au point P, l'autre, plus petite, et qui n'a pas pu être figurée dans le dessin, sur la tubulure *o* du cylindre qui renferme les petits pistons *pp'*. Pour donner à l'air le temps de circuler et de s'échapper autant que possible, on a soin de ne faire arriver l'eau motrice que très lentement; puis on

ferme les orifices aussitôt que cette dernière s'y présente à son tour; bientôt après la colonne de chute est pleine, mais il faut aussi remplir le tuyau d'émission qui se relève vers la galerie d'écoulement, et dont la communication avec la colonne de chute est interceptée par le piston R. Ce but est atteint au moyen du tube horizontal coudé a, e'_{1} (*fig.* 5), qui porte à son milieu un robinet; en ouvrant ce dernier, l'eau passe du dessus au dessous du piston R, et pénètre dans la colonne en retour SS_{1}. Ce même tube est utile quand il s'agit de vider la partie de la colonne d'eau qui s'élève au-dessus de la galerie d'écoulement.

Enfin, pour compléter la réunion en un même point et sous la main du surveillant, de tous les moyens propres à lui faciliter le maniement de sa machine, j'ai mis en rapport le tuyau d'admission avec la colonne montante Ω_{1} (dessin n° 2) de la pompe qu'il faut toujours remplir d'eau avant de mettre la machine en mouvement.

C'est le tube coudé Ω, e_{4} qui sert à cet usage; il est adapté en Ω_{1} contre le tuyau montant, et en e_{4} sous le plateau e_{3} e_{4} (*Pl. I*, *fig.* 7) de la base du régulateur, et un robinet est intercalé entre ces deux points. Je me dispense de répéter comment l'eau est amenée dans cet endroit : on vient de le voir dans l'instant à propos du tube $a_{2} e'_{1}$.

Je ne parlerai ici que pour mémoire de la cage de fer hexagonale que l'on aperçoit sur le haut du cylindre principal; son objet sera expliqué plus loin, dans la troisième partie de cette description.

Les dessins joints à ce mémoire expriment si clairement et avec tant d'exactitude la forme, les dimensions et le mode d'assemblage de la plu-

part des pièces qui entrent dans la composition de cette machine, que je crois pouvoir me dispenser de procéder ici à son anatomie complète (1), ni de m'appesantir ici sur des détails d'exécution que tout constructeur saura deviner. Je ferai exception toutefois en faveur des garnitures de pistons et des boîtes à cuir, ou des moyens d'assurer l'imperméabilité des joints entre les parois fixes et les parties mobiles.

Garnitures des pistons et des boîtes à cuir.

Le piston principal porte deux garnitures différentes; la première est formée de quatre bandes ou cercles de cuir, tirés d'épaisseur, superposés et logés dans une rainure à queue d'hironde, pratiquée sur le pourtour du piston; ces cercles sont ensuite réunis l'un à l'autre au moyen de clous ayant les têtes embreuvées dans l'épaisseur du dernier cuir, dont la saillie sur le corps métallique du piston n'est guère que $0^m,0015$.

---

(1) Pourtant il n'est pas une seule des pièces ni des dispositions de la machine qui n'ait été pour moi l'objet d'un véritable travail. Il m'a fallu pour chacune examiner la question de convenance ou *de commodo et incommodo*; déterminer les dimensions d'après l'effort auquel il fallait résister; fixer les formes les plus avantageuses sous le double rapport de la fonction et de la position de la pièce; résumer enfin ces investigations en une description détaillée et un dessin d'exécution particulier.

Aussi ces documens circonstanciés ont-ils complétement suffi à MM. Manby, Wilson et Cie, qui ont fabriqué les machines avec cette incontestable perfection qui distinguait alors les produits du bel établissement de Charenton, dont tous les amis de l'industrie regrettent sans cesse encore la chute. J'ai eu surtout à me louer des soins et de l'empressement de M. Wilson, qui a dirigé cette construction avec tout l'intérêt qu'elle méritait à la fois par la grande puissance et la nouveauté en France de l'appareil qui en était l'objet.

La seconde garniture consiste en une seule plaque ou rondelle de cuir serrée contre le dessous du piston au moyen d'une autre rondelle en cuivre et de 24 boulons. Le bord extérieur du cuir, qui dépasse le piston est retroussé, ambouti d'équerre pour frotter contre la surface intérieure du cylindre, et interdire de la sorte tout passage à l'eau. La surface frottante n'a que $0^m,020$ à 0,025 de largeur.

La boîte à cuir, qui est située sous le plateau de base du cylindre, et que traverse la tige X du piston, est aussi garnie de deux manières. Dans le fond on a placé l'une sur l'autre plusieurs rondelles de cuir bien dressées et exactement circulaires; vient ensuite un cuir doublement ambouti en forme de gouttière ou de demi-tore ayant $0^m,03$ de profondeur, dont l'ouverture est tournée vers le piston, et qui est compris entre deux anneaux de cuivre. Ces anneaux sont plans d'un côté, mais pour conserver au cuir la forme qu'on lui a donnée, on les fait courber sur l'autre face : l'un est convexe et entre dans le tore, l'autre est concave pour le recouvrir; on achève de remplir la boîte avec de nouvelles rondelles planes en cuir; enfin le tout est serré par le moyen d'un plateau et de 6 boulons.

Un mode de garniture semblable a été employé dans la boîte à cuir H'' du régulateur, dans celles W, W' des modérateurs, ainsi que pour le piston d'aide J; seulement, comme ce dernier est soumis à la pression de l'eau par ses deux faces, on a intercalé entre elles deux tores dont les ouvertures sont tournées en sens opposés.

La garniture qui fait la clôture de l'orifice du petit cylindre *i* est plus simple; elle est formée

d'une seule rondelle de cuir retroussée vers en bas à sa partie médiane de $0^m,01$ au plus, et assujettie au moyen d'un couvercle boulonné sur l'oreille dudit cylindre.

Le petit piston, dont la masse est en étain, porte aussi à sa partie supérieure une calotte en cuir pressé pour toute garniture. Le piston *p* est tout entier en étain, dont le frottement sur le bronze est toujours fort doux; il ne saurait être armé de cuir, à cause de la condition à laquelle il est soumis de traverser la tubulure *o* à chacune de ses évolutions.

Le cuir pour ces divers emplois, a reçu la forme qui lui était assignée, en le soumettant à une forte compression entre des moules particuliers, après l'avoir toutefois ramolli dans l'eau; ensuite, avant de le mettre en travail, on l'a fortement imprégné d'huile animale, qui avait le double objet de lui faire conserver une certaine raideur dans son contact avec l'eau et d'adoucir les frottemens.

Ces sortes de garnitures, excellentes sous le rapport de l'imperméabilité, durent extrêmement long-temps, surtout lorsqu'il est possible d'entretenir constamment d'un enduit gras (1) le corps contre lequel le frottement a lieu, comme c'est le cas du grand cylindre, de la tige de son piston et du manchon K. Dans ces diverses applications

---

(1) La graisse qui sert à enduire les cylindres et les tiges en contact avec le cuir, se compose d'un mélange intime fait à feu doux, de

Saindoux	6	Sa consistance doit être celle du miel.
Suif.	5	
Huile d'olive ou huile de pied de bœuf. .	1	

les mêmes cuirs ont résisté à un travail non interrompu de plus de trois années, et ne donnent encore aucun signe d'altération; ceux du piston d'aide ont été usés et renouvelés au bout de deux ans et demi de service. Ces exemples, qui montrent combien cette matière (le cuir) est précieuse dans la construction des appareils hydrauliques, témoignent aussi de la perfection de nos machines sous le rapport du frottement des corps solides entre eux, et justifient nos prévisions d'une réduction considérable dans les dépenses occasionées pour le service de l'épuisement.

Il n'y a dans la machine que deux parties dont l'exécution soit réellement très délicate; c'est d'une part, le système des pistons régulateurs R J K, et de l'autre celui des pièces H H H'. La difficulté consiste à obtenir la coïncidence rigoureuse des axes des divers cylindres dont chacun de ces système se compose, et dans l'ajustement précis de ces derniers entre eux. Je ne saurais trop insister sur la nécessité d'une exécution parfaite, et par conséquent d'une grande liberté de mouvement dans l'appareil régulateur; c'est une condition absolue du bon effet et du salut de la machine.

Colonne de chute.

Il ne me reste plus pour compléter ce chapitre qu'à parler de la colonne de chute et de son alimentation par l'aqueduc supérieur. La colonne d'émission, considérée comme moyen de balancer le poids de la maîtresse tige, sera décrite au chapitre suivant.

La chute réelle, effective, ou plutôt la distance verticale entre l'aqueduc supérieur et la galerie d'écoulement, est de 60 mètres; mais, ainsi que nous avons déjà eu occasion de le dire, la colonne

de chute, celle qui agit sous le piston principal à l'origine de son mouvement, a 74 mètres de hauteur. La différence de 14 mètres entre ces deux nombres s'applique au balancement de la maîtresse tige.

Cette colonne est formée d'une suite de tuyaux en fonte qui, partant du point O_1, près de la machine, sont d'abord horizontalement placés dans une galerie M_1 qui sépare le puits principal d'un autre puits dans lequel ces tuyaux se relèvent verticalement vers l'aqueduc supérieur. Le coude circulaire qui raccorde ces deux directions a été fait aussi grand que possible; il a selon son axe $2^m,45$ de rayon. La partie verticale de la colonne s'élève jusqu'au point O_3, où elle est de nouveau repliée au moyen d'un coude pareil au précédent, pour se raccorder avec le sol de la galerie aquéduc qu'elle suit avec une légère pente ascendante sur une longueur d'environ 7 mètres. Enfin, en O_4 elle traverse une espèce de digue en maçonnerie, et elle se courbe une troisième fois pour plonger au fond d'un grand bassin ou réservoir, qu'alimente sans cesse en A_2 la galerie qui amène les eaux du jour.

Bassin d'alimentation des tuyaux de chute.

La colonne des tuyaux de chute fonctionne donc ici à la manière d'un syphon toutes les fois que le niveau de l'eau dans le bassin descend au dessous du point culminant O_4 des tuyaux placés au sol de la galerie d'écoulement. Cette disposition, qui avait il est vrai l'inconvénient d'un plus grand nombre de coudes, a été déterminée par les motifs et les avantages suivans :

1° D'éloigner du puits de chute toute la masse des eaux motrices, ainsi que le danger de leur irruption;

2° De placer le bassin dans un terrain solide, et de pouvoir par conséquent lui donner des dimensions très grandes, tout en lui assurant, au moyen de bonne maçonnerie, une imperméabilité et une indestructibilité absolues;

3° De ne point obstruer l'orifice du puits et de le laisser libre pour le service du montage et des réparations des colonnes de chute et de leurs supports;

4° De tenir l'embouchure du tuyau plongée dans une masse d'eau assez grande pour que la dénivellation que celle-ci éprouve à chaque pulsation soit très petite et n'ait aucune influence sur le travail de la machine;

5° D'avoir toujours une assez grande provision d'eau motrice auprès de la colonne pour faire face aux irrégularités qui peuvent survenir dans l'alimentation de l'aquéduc, et pour donner le temps d'aller régler cette dernière à la vanne de prise d'eau située au jour, et éloignée de 348 mètres;

6° De diminuer beaucoup l'inconvénient des entonnoirs d'air qui seraient inévitables dans le cas d'un orifice de tuyau tourné en sens contraire, vers en haut.

Ce bassin sert d'ailleurs à l'épuration des eaux qui se rendent à la machine; je ferai connaître plus loin le moyen établi en *jj* pour retenir les corps flottans (les feuilles, etc.) que l'eau charrie.

CHAPITRE IIe. — *Attirails de tirans; balancier hydraulique; pompe élévatoire.*

La transmission de la puissance jusqu'à la tige de la pompe située au fond du puits se fait, ainsi qu'il a été dit, selon une ligne droite, au moyen d'un attirail dont je vais m'occuper en premier lieu. Attirail.

Suivant mon projet primitif, cet attirail devait être entièrement construit en fer pour les deux machines jumelles qui composent l'appareil, à l'exclusion du système ordinaire des tirans de bois assemblés avec des platines et des boulons en fer. Cette préférence a été basée non-seulement sur la difficulté de se procurer en tout temps à Huelgoat les bois de construction de fort échantillon et de bonne qualité nécessaires pour les tirans; mais plus particulièrement encore sur le désir d'assurer à cette partie de la machine, comme je l'ai fait pour les autres, une certitude de durée et d'invariable résistance que le bois est si loin de présenter, dans l'intérieur des mines surtout.

Néanmoins, divers motifs, tous en dehors des considérations précédentes, m'ont déterminé à modifier mon projet et à adopter pour la première machine, dont la construction était devenue très urgente, des tirans en bois, tout en conservant la pensée de leur remplacement ultérieur par un attirail en fer, pareil à celui dont la seconde machine a été munie.

L'attirail en bois est formé d'une suite de tirans

Premier attirail : tirans en bois.

assemblés l'un à l'autre par un trait de jupiter simple, consolidé au moyen d'une armature en fer, sur laquelle se reporte en dernière analyse tout l'effort qui tend à désunir le joint.

Cette armature se compose de quatre platines opposées deux à deux et serrées contre le bois par 13 boulons carrés à écrous. Cet assemblage, qui est représenté dess. n° 2, *fig.* 4 et 5, demande plus de précision qu'on ne le suppose d'ordinaire, pour obtenir une solidarité complète de résistance entre le fer et le bois, et éviter tout cheminement de l'un dans l'autre; ainsi les platines ont été percées à froid d'après deux gabaris étalons construits avec beaucoup de soin; les boulons, tous d'égale grosseur, ont été présentés et ajustés dans leurs trous respectifs. Les mêmes gabaris ont servi ensuite pour percer la place des boulons dans les tirans de bois, qui avaient été préalablement bien dressés d'équerre sur les quatre faces. Il va sans dire qu'on a rebuté tous ceux de ces derniers dans lesquels on a reconnu des défauts lors du travail des faces et du percement des trous.

Les résultats les plus satisfaisans ont couronné tous ces soins. L'attirail essayé, sous une pression triple de l'effort qu'il devait habituellement supporter, n'a bougé dans aucun de ses joints d'une quantité discernable à l'œil; seulement il s'est alongé d'environ $0^{m},08$, sans doute en vertu de l'élasticité propre aux matériaux dont il est composé, puisqu'il a retrouvé sa longueur primitive lorsque la force de traction a cessé d'agir sur lui; enfin, depuis trois années et demie qu'il fonctionne, on n'a pu observer en aucun point le moindre jeu dans les abouts des tirans.

Les dimensions du fer et du bois ne sont pas les mêmes du haut au bas de cette longue tige ; elles sont proportionnées aux charges qui la sollicitent et qui décroissent à mesure qu'on descend vers la pompe. Mais comme il est impossible, en bonne pratique, d'exécuter une tige uniformément décroissante entre deux points déterminés, j'ai divisé les tirans et leurs armatures en quatre séries selon les nombres : $0^m,27$, $0^m,25$, $0^m,23$, $0^m,21$ pour l'écarrissage des bois, et $0^m,032$, $0^m,028$, $0^m,024$, $0^m,020$ pour l'épaisseur des platines ; la largeur de ces dernières restant égale partout à $0^m,12$, de même que la grosseur des boulons fixée à $0^m,04$. Les tirans ont 7 mètres de longueur prise entre les milieux de deux joints consécutifs ; ceux-ci ont 1 mètre (*fig.* 4).

Le moyen d'attache de l'attirail contre la tige du piston de la machine représenté en r_4 (dess. n° 2, *fig.* 1, 3) consiste simplement en deux fortes bandes ou mâchoires en fer qui embrassent le bout cylindrique de la tige additionnelle X′, et sont traversées, de même que cette dernière, par deux clavettes. A leur partie inférieure, ces bandes sont fixées contre le premier tirant de la première série, au moyen de cinq boulons. Deux platines fortement serrées contre les deux autres faces du tirant ont pour objet d'empêcher le bois de se fendre sous l'effort des boulons précédens. On s'y est pris de la même manière pour assembler le dernier tirant de la quatrième série avec l'extrémité de la tige du piston.

La tige additionnelle X′ est elle-même fixée contre celle du piston, au moyen d'un manchon

d'emboîtement l et d'un double système de clavettes. J'indiquerai plus loin l'utilité de cette tige.

Deuxième attirail : chaînes en fer

L'attirail en fer est une chaîne analogue à celles qu'on emploie pour les ponts suspendus, mais exécutée avec plus de soin. Elle consiste en un faisceau de quatre tringles ou barres carrées, accouplées deux à deux, de manière à former deux chaînes à deux brins parfaitement semblables et juxtà-posées (*fig.* 3 *et* 7).

Chacune de ces dernières est morcelée dans sa longueur et divisée en un nombre de mailles égales r_1, r_2, qui sont réunies au moyen de trois platines percées de deux trous principaux, et par deux boulons qui enfilent les platines et les têtes des tringles.

Les articulations correspondantes des deux demi-chaînes sont réunies par leurs milieux, au moyen de deux petites brides en fer que traversent deux boulons r (*fig.* 10 et 11). De cette manière, ces chaînes ne peuvent plus s'écarter, sans cependant former un seul tout entièrement invariable ; elles conservent au contraire l'utile faculté de pouvoir glisser un peu l'une sur l'autre dans le sens de la longueur, en laissant un jeu convenable au bridage qui les réunit.

On voit donc que chacun de ces doubles nœuds, indépendamment des huit tringles, opposées quatre à quatre, qui y aboutissent, comprend six platines traversées trois à trois par quatre boulons principaux et par deux petits boulons que réunissent deux brides.

Toutes les mailles, sauf les deux extrêmes qui

ont à se raccorder avec les tiges des pistons, ont la même longueur de $3^m,503$ comptée de milieu en milieu de deux nœuds consécutifs. Elles sont divisées en quatre séries; dans la première, la plus élevée de la chaîne, les tringles auront $0^m,049$ d'équarrissage; cette dimension ne sera plus que de $0^m,047$ pour la seconde, $0^m,045$ pour la troisième et $0^m,043$ pour la quatrième. Les platines et boulons des nœuds suivent un décroissement analogue; ainsi les boulons principaux ont respectivement $0^m,049$, $0^m,047$, $0^m,045$, $0^m,043$ de diamètre; toutefois les petits boulons et leurs brides conservent partout la même grosseur.

Les nœuds des cinq dernières mailles de la quatrième série diffèrent des autres en ce qu'ils ne sont point articulés. Les têtes des tringles y sont carrées ou plutôt terminées carrément, et elles sont maintenues fixes entre les platines, au moyen d'un système de clavettes à talons qui remplace en même temps les petits boulons et brides des autres joints, et procure à cette partie de la chaîne la rigidité dont elle a besoin. Ce nœud est représenté en DD' dessin n° 3, *fig.* 2 et 19.

Les boucles d'assemblage des mailles extrêmes avec les tiges des pistons ne demandent plus aucune explication, quand on a jeté les yeux sur les *fig.* 2, 19 et 20, pour à la boucle inférieure, et sur les *fig.* 3, 7 et 8, dess. n° 2, en ce qui concerne le moyen d'attache supérieur r_3.

Une chaîne comme celle que je viens de décrire n'offre dans sa construction qu'une seule difficulté un peu sérieuse : c'est d'être organisée de manière que ses quatre brins ou élémens princi-

paux soient toujours également tendus durant leur travail, ou, en d'autres termes, qu'ils soient solidaires dans le partage de la résistance à l'effort qui leur est opposé.

Nécessité et difficulté d'une tension égale.

Cette égalité de tension ne pouvant être que la conséquence de la parfaite exécution de toutes les parties dont la chaîne se compose, les recommandations suivantes ont été faites au fabricant qui en a été chargé (1):

1° Les têtes des tringles, forgées avec le plus grand soin, seront, ainsi que les platines, percées à froid sur les mêmes gabaris parfaitement étalonnés;

2° Après avoir ensuite placé les unes sur les autres les pièces semblables de chaque série (tringles ou platines), on passera un alésoir dans les trous correspondans, jusqu'à ce qu'ils ne forment plus qu'une même surface cylindrique continue du diamètre voulu;

3° Les boulons principaux seront tournés et bien calibrés aussi pour remplir très exactement, et dans toute leur longueur, les espaces cylindriques formés par les trous des têtes de tringles et des platines qu'ils traversent.

Indépendamment de ces soins et de plusieurs autres moins importans et inutiles à rapporter ici, on s'est ménagé la faculté de remédier par les boucles de suspension à une légère inégalité de longueur qui pourrait exister entre les deux demi-chaînes au moment de leur pose. Enfin, on a dû compter aussi un peu sur la nature très ex-

(1) M. E. Martin de Fourchambault (Nièvre).

tensible du fer *dit à câbles*, demandé pour la construction de la chaîne, comme moyen de racheter les derniers petits défauts d'ajustement.

La chaîne, quant à ses dimensions dans le sens transversal, a été calculée dans la supposition où chaque centimètre carré de section serait habituellement chargé de 550 kilogr.; mais elle a été soumise aussi à la condition de supporter une traction d'épreuve équivalente à 1.500 kilogr. par centimètre carré, continuée pendant douze heures consécutives, et qui ne doit ni rompre le fer ni détruire son élasticité.

Balancier hydraulique.

L'emploi d'un attirail vertical, comme instrument de transmission de mouvement dans les machines qui servent à l'épuisement des mines, est toujours soumis à la condition de n'occasioner que le sacrifice le plus minime possible à la puissance qui doit mettre en jeu la masse souvent très considérable de cet attirail. La machine d'Huelgoat, plus que toute autre, a dû être soumise à cette loi commune, puisque le poids de la chaîne ci-dessus décrite ne pèse pas moins de 16.000 kil., c'est-à-dire le tiers de la pression exercée sous le piston moteur.

Divers moyens ont été mis en usage pour manier de telles masses, sans trop préjudicier à l'effet utile des machines.

Le plus souvent on s'est servi de grands leviers oscillans, chargés de poids à l'une de leurs extrémités et attachés par l'autre aux maîtresses tiges qu'il s'agissait d'équilibrer.

Dans quelques machines récemment construites en Hongrie, on a réparti les pompes entre deux

maîtresses tiges qui, réunies l'une à l'autre par une chaîne passant sur une poulie entre-axe, se balançaient entre elles. Une machine dédoublée meut ces deux attirails.

D'autres fois, comme dans les mines du Cornwall, on a utilisé le poids des masses élevées pour faire monter les eaux souterraines au moyen de pompes foulantes.

Enfin, dans ces mêmes usines, on a eu recours à un contre-poids hydraulique qui consiste en une colonne d'eau communiquant avec un cylindre dans lequel fonctionne un piston, dont la tige dirigée en bas, est liée à l'extrémité supérieure de l'attirail. (Voyez, pour plus de détails sur ces derniers moyens, le mémoire de M. Combes sur les mines du Cornwall, *Ann. des mines*; 3e *série, tome V.*)

Motif du rejet des balanciers connus, et de l'emploi d'une disposition nouvelle.

Mon but ne peut pas être d'entrer ici dans une discussion approfondie des mérites et des inconvéniens de ces divers balanciers; je dois me contenter d'indiquer les principaux motifs sur lesquels je me suis appuyé pour ne point les employer.

J'ai rejeté les balanciers rigides oscillans, parce que :

1° Ils obligent la puissance motrice à dépenser une quantité d'action trop grande pour relever sans cesse la partie du poids de l'attirail employée à imprimer le mouvement oscillatoire à leur énorme masse. Les chocs et les vibrations qui résultent de ce mouvement viennent encore augmenter cette dépense de force;

2° Ils portent en eux des causes incessantes d'usement et de destruction, et sont par conséquent loin de présenter le degré de sécurité désirable;

3° Ils sont, d'après cela, en opposition com-

plète aux principes qui ont présidé à l'organisation de la machine qui nous occupe;

4° Ils exigent, quand le poids à balancer est considérable, des excavations très grandes ou très nombreuses.

Des objections à peu près semblables pouvaient être adressées à la méthode hongroise; mais je l'aurais repoussée encore, quoique fort rationnelle au premier aperçu, parce que :

1° Le mode de suspension sur une poulie d'un petit diamètre ne peut pas convenir dans le cas d'attirails d'un poids considérable (1);

2° Il y a un désavantage très grand à faire dépendre l'une de l'autre deux machines, ou même deux portions de machines qui, pouvant éprouver des dérangemens particuliers et des résistances variables, se contrarient mutuellement; l'effet utile de tels appareils est toujours considérablement affaibli.

Je n'ai pas eu recours au troisième moyen, parce que :

1° Je n'ai pas voulu, d'après les motifs développés plus haut, placer l'attirail dans les circonstances d'une machine à double effet, en le faisant agir pour élever de l'eau par refoulement, de 230 mètres de profondeur ;

2° Ce mode eût exigé une chaîne ou maîtresse tige d'un poids double au moins de celui qui est en usage.

Le quatrième moyen m'avait paru si simple et tellement en harmonie avec les autres parties de notre appareil d'épuisement, que, dès 1822, je

(1) 32.000 kilogr. pour notre machine.

l'avais compris dans une de mes études de machines à colonne d'eau, sans savoir qu'il fût usité en Angleterre; mais peu de temps après, ayant trouvé mieux encore, c'est-à-dire un balancier inhérent à la machine et agissant sans aucun intermédiaire de corps solides, je m'y suis irrévocablement fixé.

Tout balancier doit agir alternativement de deux manières : tantôt il seconde la puissance, quand elle est appelée à faire monter l'attirail, tantôt il est un frein opposé à la libre descente de ce dernier. En se représentant l'énorme force vive avec laquelle le piston, abandonné dans le haut de sa course, à l'action de la gravité, atteindrait la base du cylindre, on concevra toute l'importance de la seconde de ces fonctions, à laquelle d'ailleurs les machines à colonne d'eau se prêtent merveilleusement bien.

Il suffit en effet, pour retarder autant qu'on le voudra la vitesse de descente du piston, de ne pas permettre à l'eau motrice de s'échapper librement, c'est-à-dire d'appliquer sur l'orifice d'émission un obstacle quelconque, par exemple, une soupape chargée d'un poids convenable et proportionnée à la pesanteur de l'attirail.

J'ai pensé bientôt que l'on atteindrait également le but proposé en adaptant sur le même orifice, pour servir à l'écoulement de l'eau, une colonne de tuyaux d'une hauteur verticale, telle que la pression exercée par cette voie sous le piston principal fût égale, ou plutôt légèrement inférieure au poids qui le sollicite en sens opposé.

Une telle disposition satisfaisait donc à l'une des conditions du problème des balanciers; mais

elle laissait à la charge du moteur le relèvement de l'attirail tout entier.

La solution a été complétée par l'idée bien simple de placer la machine avec sa colonne additionnelle de tuyaux d'émission, en contre-bas de la galerie d'écoulement. Il est évident que de cette manière la colonne de chute étant alongée d'autant, la force motrice recevait l'accroissement nécessaire pour soulever l'attirail. Celui-ci se trouvait donc ainsi équilibré tant à la montée qu'à la descente, sans que la puissance motrice en éprouvât un préjudice trop sensible.

Ces considérations, appliquées à la machine d'Huelgoat, ont donné lieu au balancier hydraulique qui est représenté dess. n° 2, *fig.* 1. On y voit la machine descendue au-dessous de la galerie d'écoulement E′, et par conséquent le tuyau de chute alongé de toute la hauteur qui sépare cette galerie de la base du cylindre Y, ou plutôt de la limite inférieure Y′ de la course du piston principal. La colonne en retour $SS_1 \ldots\ S_4$ constitue le balancier proprement dit; elle part du tuyau d'émission S, et se trouve ensuite disposée, coudée comme celle de chute, seulement elle se termine en S_3 par un gobelet E_5, qui porte latéralement un conduit ou dégorgeoir rectangulaire S_4, par lequel l'eau s'échappe vers la galerie.

Avantages et inconvéniens du balancier hydraulique.

Les avantages d'un pareil balancier sont patens:

1° Il réunit à une grande simplicité une incontestable efficacité et une continuité d'action inaltérable;

2° Il offre une absolue sécurité; car l'on ne saurait imaginer un événement ayant pour conséquence de laisser l'attirail abandonné à lui-même dans sa descente;

3° Il ne comporte aucune masse solide en mouvement, et par conséquent aucune cause d'ébranlemens ni de contre-coups;

4° Il n'exige aucune espèce de surveillance, de soins particuliers, de dépense d'entretien.

Mais à côté de ces avantages se présentent aussi quelques inconvéniens; ainsi on peut lui reprocher :

1° D'être d'une exécution assez coûteuse, en ce qu'il nécessite l'approfondissement du puits de chute et un alongement des tuyaux. On peut dire, il est vrai, que par la même occasion l'attirail du puits diminue de longueur;

2° De placer la machine beaucoup au-dessous de la galerie d'écoulement, c'est-à-dire dans une position que l'on pourrait regarder comme critique s'il pouvait y avoir quelques chances de submersion totale des travaux souterrains;

3° De ne point agir d'une manière tout-à-fait uniforme. On conçoit en effet que le contre-poids, dont la hauteur doit être calculée dans la supposition du piston rendu au bas de sa course, est ensuite variable, entre les limites de cette dernière, d'une quantité égale au poids de l'eau contenue dans le cylindre; cette circonstance entraîne en dernière analyse une dépense de force qui s'ajoute à celle qu'il faut imputer au moteur pour produire le mouvement dans l'appareil;

4° De ne convenir qu'à une profondeur d'épuisement déterminée, c'est-à-dire pour une pesanteur d'attirail donnée.

Quelle que soit la gravité des reproches que l'on peut faire à ce balancier hydraulique, j'ai cru devoir persister à me laisser guider par les avantages qu'il présente. Ma conviction à cet égard n'a même

pas pu être ébranlée par un mécompte assez grave que j'ai éprouvé au moment de son exécution.

Hauteur de la colonne d'eau balancier.

Après avoir calculé la profondeur à laquelle il convenait de descendre le plan de pose de la machine pour obtenir le balancement d'attirail le plus complet possible, il s'est trouvé que la roche qui forme en ce point les parois du puits, était d'une nature tellement ébouleuse qu'il eût été sinon impossible, du moins très imprudent d'y établir le pont de support des machines. Il a donc fallu s'élever plus haut pour trouver des appuis solides, et il en est résulté que la hauteur du balancier, c'est-à-dire la distance entre la tablette qui forme l'entrée de la galerie d'écoulement et le dessus de la tubulure du grand cylindre, a été réduite à 14 mètres.

La pression hydrostatique, qui correspond à ce nombre pour une surface de piston égale à 0,817, n'est que de 11.400 kil., tandis que l'attirail en pèse 16.000 (abstraction faite du poids des pistons et des tiges, à réserver pour vaincre les frottemens auxquels ils donnent lieu à la descente). Le rapprochement de ces deux nombres fait voir que dans une telle situation, et pour une profondeur d'épuisement de 230 mètres, le balancier sera insuffisant, et qu'il faudra lui adjoindre un système auxiliaire si la force motrice disponible alors ne se trouvait plus en état de faire face à cette surcharge.

Dans l'état actuel des choses, c'est-à-dire pour des pompes placées à la profondeur de 170 mètres, et jusqu'à ce que les travaux aient atteint leur limite de 230 mètres, cette hauteur de $14^{m},00$ sera

fort bien appropriée à la pesanteur de la chaîne, qui n'est encore que de 12.000 kil.

Dans l'origine, la pompe de la première machine n'a pu être posée qu'à la profondeur de 155 mètres; son attirail en bois, qui pesait près de 15.000 kil., avait sur le balancier une prépondérance assez marquée pour qu'on fût obligé de l'amortir au moyen du modérateur placé dans le tuyau d'émission. Si, au contraire, on avait été contraint par les circonstances de l'exploitation à placer la pompe plus haut encore, ou si l'on avait eu recours à un attirail plus léger, comme c'est le cas de la chaîne de fer, il serait arrivé que le balancier eût été trop énergique. Dans ce cas, le piston principal n'aurait pu descendre qu'à l'aide de poids additionnels appendus contre sa tige; c'est principalement dans ce but que l'on a adapté contre cette dernière, au moyen du manchon à clavettes *l*, le tirant de fer X′, destiné à recevoir des rondelles en plomb.

Pompe élévatoire. La pompe élévatoire, qui complète l'appareil d'épuisement, est placée au fond du puits vers lequel on dirige toutes les eaux de filtration, et présente les parties principales ci-après:

Un corps ou cylindre C, *fig.* 1, 2 et 4, dess. n° 3, fermé à sa partie supérieure, et dans lequel se meut le piston P;

Une chapelle latérale LL′, renfermant deux soupapes S, S′;

Un tuyau d'aspiration A.... A_4, avec un bassin ou puisard B;

Un tuyau montant Ω.

Les fonctions de la pompe et de ses diverses parties peuvent se résumer ainsi : lorsque le piston P, sollicité par la machine motrice, monte dans

son cylindre, l'eau dont est rempli ce dernier passe dans la chapelle, soulève la soupape S', et s'élève dans le tuyau montant Ω pour se rendre à la galerie d'écoulement; quand il redescend, cette soupape se ferme, et l'eau du bassin, obéissant à la pression atmosphérique, monte dans l'aspirateur, soulève la soupape S, et va remplir dans le cylindre l'espace parcouru par le piston. La pompe est donc intermittente d'aspiration et de refoulement, suivant que la force motrice est inactive ou agissante. Je passe à l'examen détaillé de ses diverses parties.

Le cylindre C est en bronze, parfaitement alésé et même rôdé, sauf dans sa partie supérieure, où il est légèrement évasé pour faciliter l'entrée du piston; à cette partie correspond la tubulure T, qui établit sa communication avec la chapelle. Son orifice inférieur reste ouvert, ce qui permet de graisser sa surface intérieure dans toute l'étendue de la course du piston; l'orifice supérieur au contraire est fermé au moyen d'une boîte à cuir, traversée par la tige X du piston; un disque recouvre cette boîte et sert à comprimer la garniture qu'elle contient. Celle-ci est formée de plusieurs rondelles de cuir, et surtout de deux demi-tores, adossés ou tournés en sens contraire, dont l'un doit s'opposer à la sortie de l'eau, l'autre à l'introduction de l'air au moment de l'aspiration.

Le piston et sa tige sont également en bronze, mais d'une seule pièce, tournée et polie. La surface supérieure du plateau O, qui fait piston, est munie d'un chapeau de cuir embouti, ayant 0^{m},027 de bord retroussé, formé et maintenu exactement comme dans le piston moteur : la plus complète imperméabilité résulte encore ici de cette simple

garniture. Un chapeau semblable avait été appliqué primitivement sous ce même plateau, dans le but d'empêcher l'air de pénétrer dans la pompe pendant l'aspiration; mais il perdait bientôt sa flexibilité par suite de son contact avec l'eau vitriolique, qui tapisse toujours la surface intérieure du cylindre, et cessait d'obéir à la pression de l'air extérieur. Pour lui restituer toute l'élasticité désirable, il a fallu adapter dans son intérieur, et fixer contre le piston, au moyen d'un boulon central G, un plateau *p*, *fig.* 14 et 15, garni en dessus d'un système de liteaux *l l*, et de ressorts à boudin *l'*, *l'*, qui poussent le rebord vertical du cuir contre le corps de pompe.

La chapelle est formée de deux parties L, L' superposées. Celle d'en haut L s'emboite dans la pièce évasée Ω, qui termine inférieurement la colonne montante; elle est munie à son sommet d'un chapeau de cuir ambouti, tout-à-fait semblable à ceux précédemment cités, et maintenu comme eux au moyen d'une rondelle et de vis *v* en cuivre; les écrous de ces dernières, en même métal, sont ici rapportés et noyés en *v'* dans l'épaisseur de la pièce elle-même, qui est en fonte de fer.

La partie L, ou la chapelle proprement dite, qui est réunie à la pompe par sa tubulure T', présente au-dessus et au-dessous de cette dernière les deux systèmes de soupapes S, S'. Le premier est pincé dans une rainure qu'offre le joint LL'; le second s'emboîte dans le haut de l'aspirateur A, et repose sur un rebord ménagé au fond de la chapelle, où il est maintenu par trois coins *α*, que l'on enfonce dans des entailles pratiquées sur son pourtour. Des regards, placés en *r* et *r'* sur les deux parties de la chapelle, servent à vérifier l'état

des soupapes et à les nettoyer au besoin; pour les changer, il faut relever la pièce L, ce qui se fait aisément au moyen du joint mobile $v\ v'$.

Chacun des systèmes S S' se compose de deux pièces : d'une soupape proprement dite (voyez *fig.* 6, 7), et d'une boîte ou porte-soupape F, (*fig.* 8, 9, 10). La boîte offre, à sa partie supérieure, un creux conique, et à son centre un guide maintenu par une croix, qui reçoit à frottement doux la tige centrale de la soupape. Celle-ci est couronnée par des nervures de renfort et par un bout de tige fileté qui sert à la manœuvrer. Elle présente d'ailleurs en dessous une surface conique qui se loge exactement dans le vide de même forme que présente la boîte. Ces deux parties doivent être tournées, ceintrées, puis rôdées l'une sur l'autre avec le plus grand soin. Soupapes.

Les tuyaux aspirateurs $A_1 \ldots A_3$ s'adaptent contre l'oreille qui entoure l'orifice inférieur de la chapelle. Le dernier A_3 est évasé à son extrémité, et muni d'un plateau ou disque en cuivre, percé de deux ouvertures demi-circulaires séparées par une traverse. Ce disque sert de support à un clapet double $z\,z'$, formé de deux rondelles de cuir superposées, comprises entre deux paires de plaques de cuivre, réunies par des rivets, et fixé sur la traverse du disque au moyen d'une tringle vissée z'', autour de laquelle le cuir fait charnière. Voici l'objet de ce clapet. Lorsqu'on veut remettre la machine en jeu après un chômage plus ou moins long, il est nécessaire de remplir d'eau toutes les parties de l'appareil pour en chasser l'air qui a pu s'y introduire, et qui occasionne toujours des ébranlemens fâcheux à l'origine du mouvement. Cette injection d'eau doit commencer par Aspirateur.

l'aspirateur, dont il faut par conséquent tenir fermé l'orifice inférieur.

D'un autre côté, on voit en $u_1 u_2 u_3$ un système de petits tubes munis de robinets, au moyen desquels on peut mettre l'aspirateur et la chapelle en communication avec la colonne montante. Enfin, on procure une issue à l'air en tournant la vis creuse w, adaptée sur le couvercle du regard r de la chapelle. Lors donc qu'on ouvre les robinets, l'eau du tuyau Ω se précipite dans l'aspirateur et le remplit promptement; l'air soulève la soupape S et sort par la vis w en même temps que celui qui est déplacé par l'eau que l'on injecte dans le corps de pompe par le robinet u_2.

Dès que l'eau se montre à son tour en w, on referme la vis aussi bien que les robinets, en commençant par celui d'en haut : l'appareil est alors prêt à fonctionner. Cette manœuvre, qui est aussi prompte que sûre, a pour résultat de donner à la machine, dès le premier coup de piston, la marche douce et régulière qu'elle conserve ensuite presque indéfiniment.

Le bassin B est destiné tout à la fois à l'alimentation de la pompe et à l'épuration des eaux qu'elle doit élever. Il se trouve en partie suspendu dans le puits, en partie logé dans une excavation latérale faite tout exprès. J'aurai l'occasion de décrire au chapitre suivant les dispositions faites tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de ce bassin pour la complète épuration des eaux, condition essentielle à la conservation et au bon effet de la machine.

La colonne montante qui commence à la pièce Ω, se compose d'une longue suite de tuyaux en fonte, placés les uns au-dessus des autres, et se terminant à la galerie d'écoulement; elle est ver-

ticale jusqu'auprès de la machine en Ω_1, dess. n° 2, *fig*. 3. Là, il a fallu la dévoyer latéralement au moyen des tuyaux courbes $\Omega_1 \Omega_2$, pour éviter la tubulure du cylindre Y et le régulateur; redevenue verticale dans la chambre de la machine, elle s'infléchit bientôt de nouveau en Ω_3, pour reprendre ensuite son aplomb primitif dans la partie supérieure du puits, où elle s'arrête en Ω_4 à la hauteur de la galérie d'écoulement. Elle est couronnée à ce point par un gobelet fermé en dessus, et muni latéralement d'un tuyau de dégorgement rectangulaire, qui verse l'eau élevée dans une bâche Σ qui communique avec la galerie d'écoulement au moyen d'un canal ou conduit en bois $\Sigma' \Sigma''$, placé sur l'un des côtés de la galerie et du puits de chute qu'il traverse.

Les tuyaux qui composent cette longue colonne ne sont pas tous semblables entre eux. Dans la partie inférieure jusqu'à 61 mètres sous la galerie d'écoulement, ils ont 2^m,30 de longueur, et 0^m,275 de diamètre intérieur; mais ils sont divisés en cinq séries quant à l'épaisseur, qui suit à partir d'en bas, la progression décroissante des nombres 56, 48, 40, 32, 24; ils sont réunis par des brides à boulons, dont les épaisseurs un peu moindres sont respectivement exprimées par les nombres 48, 40, 32, 24, 24.

Le reste de la colonne est formé de tuyaux pareils à ceux de chute, qui ont 2^m,60 de longueur, 0^m,38 de diamètre intérieur, et 0^m,027 d'épaisseur de paroi; les tuyaux courbes $\Omega_1 \Omega_2$..... sont des huitièmes de circonférence pareils à ceux qui composent deux à deux les coudes dans le puits de chute. L'emploi de tuyaux plus grands dans cette partie du puits, quoique très favorable

au mouvement de l'eau en raison des doubles coudes Ω, Ω, n'a cependant pas été provoqué par ce seul motif; il s'agissait aussi d'utiliser un certain nombre de tuyaux de cette dimension qui excédaient les besoins des colonnes du puits de chute (*voyez* note de la page 34). Il sera parlé du montage de ces tuyaux dans le chapitre suivant.

Imperfection des pompes en général. Mécompte dans leur produit.

On a depuis long-temps reconnu que le produit effectif des pompes reste toujours au-dessous des indications du calcul, c'est-à-dire que le volume d'eau élevé n'est jamais égal à celui du solide engendré par la course du piston; les systèmes en apparence les meilleurs et les mieux exécutés, présentent encore des différences notables, et il n'est pas rare d'y voir l'effet théorique réduit d'un quart. Les imperfections des soupapes et des garnitures du piston sont évidemment la cause principale de tels mécomptes.

Les soupapes peuvent pécher soit par défaut de précision dans leur ajustement contre les surfaces fixes sur lesquelles on les fait battre; soit, surtout, parce que leur mouvement n'est pas assez libre ni assez prompt pour produire une clôture instantanée. Diverses observations me portent à penser que les soupapes à charnières ou les *clapets* sont dans ce dernier cas, et qu'en général celles à mouvement vertical sont préférables.

Les garnitures de pistons sont pour la plupart sujettes à se laisser traverser par l'eau au bout d'un temps de service très court, surtout quand les cylindres avec lesquels elles sont en contact sont imparfaits ou chambrés. Tous ces défauts, qui ont pour conséquence de laisser retomber une partie de l'eau soulevée, deviennent d'autant plus graves que les hauteurs de pression sont plus considéra-

bles, et à cet égard notre appareil, qui devait fonctionner à près de 23 atmosphères, demandait les soins les plus grands, les instrumens les plus parfaits.

A mon avis, la meilleure disposition de pompes est celle qui permet de constater à chaque instant l'état des garnitures et des soupapes, ou plutôt le degré d'herméticité qu'elles présentent, afin de les remplacer dès qu'il s'y manifeste des pertes.

Dispositions particulières aux pompes d'Huelgoat. Améliorations.

Les cylindres ouverts à l'une de leurs extrémités, ou bien les pistons pleins (*plunger*) dans les pompes foulantes, satisfont complétement à cette condition, quant aux garnitures de pistons : la moindre fuite d'eau ne pouvant y rester inaperçue. Pour obtenir un avantage analogue à l'égard des soupapes, j'ai adapté contre l'un des tuyaux d'aspiration A_2 une tubulure recourbée W, munie d'une petite soupape chargée d'un poids (une atmosphère au plus), absolument comme pour les soupapes de sûreté des machines à vapeur. Dès que, par suite d'usement ou par l'interposition du moindre corps étranger, la soupape inférieure S ne clot plus bien, la tubulure W fonctionne, et l'eau s'en échappe avec force au moment de l'ascension du piston, c'est-à-dire sous la pression de toute la colonne montante. Pour vérifier l'état de la soupape supérieure on se sert des tubes u, u_1, c'est-à-dire qu'après avoir arrêté la machine on ouvre la communication entre le dessous de la soupape et l'aspirateur; s'il y a perte, elle se manifestera à l'orifice de la petite tubulure W. Ces épreuves, qui font de nouveau ressortir l'utilité du clapet inférieur, supposent que ce dernier ferme hermétiquement; c'est ce dont on peut au surplus s'assurer facilement.

Ces moyens de vérification étant impuissans pour apprécier les pertes d'eau qui sont la conséquence d'une trop grande lenteur dans le jeu des soupapes, j'ai cherché à m'en rendre compte par une expérience directe. Après m'être assuré que toutes choses étaient en bon état dans la pompe, et que surtout il n'y entrait pas d'autre air que celui dégagé de l'eau elle-même, j'ai mesuré, en la faisant tomber dans un espace de capacité connue, l'eau élevée pendant un temps donné jusqu'à la galerie d'écoulement; d'un autre côté, j'ai constaté le chemin parcouru, puis calculé le solide engendré par le piston dans le même temps. Le rapprochement de ces deux observations a fait voir que pour notre pompe l'effet théorique ne surpassait que de $\frac{1}{30}$ le produit obtenu.

Ce résultat satisfaisant ne provient pas seulement de la bonté du système des soupapes à mouvement vertical, je crois qu'on doit l'attribuer aussi au mode d'action de la puissance, tel que le régulateur de la machine l'établit; on doit se rappeler en effet que le mouvement du piston commence et finit avec une vitesse nulle, qui s'accroît ou décroît ensuite par degrés insensibles; cette loi devient sans aucun doute commune aux soupapes qui ne s'ouvrent et ne se ferment que par degrés et sans faire entendre le moindre bruit. Ainsi, au moment où le piston de la pompe arrive au haut de sa course, la soupape supérieure est si près de son lit de pose qu'elle doit se fermer aussitôt que le mouvement s'arrête définitivement, et empêcher d'une manière presque absolue toute retombée d'eau.

Au surplus, dans toute cette partie de notre appareil on remarque le même moelleux dans les

L'air aspiré trouble le jeu de la machine.

mouvemens, la même absence totale d'ébranlement que dans la machine motrice. Cependant il est un cas accidentel où cette tranquillité est sérieusement troublée, et qui tend à confirmer tout ce que j'ai dit sur les excellens effets d'une régulation lente et graduée, c'est celui où par une cause quelconque la pompe aspire une certaine quantité d'air, qui, allant naturellement se loger dans le haut de la chapelle sous la soupape supérieure, forme une solution de continuité dans la masse liquide à mouvoir. Quand ensuite le piston reprend sa course ascensionnelle, il ne rencontre la résistance que lorsqu'il a déjà acquis une vitesse notable, et il ne peut par conséquent soulever la soupape et la colonne montante que d'une manière brusque et avec choc. Or telle est la solidarité, l'unité d'action dans toutes les parties de notre appareil d'épuisement, que la réaction de ce choc, quelque faible qu'il soit, se fait sentir jusqu'à la machine, jusqu'au régulateur lui-même, où le machiniste peut reconnaître l'épaisseur de la couche d'air qui s'est introduite dans la chapelle, ne fût-elle que de 4 à 5 centimètres.

Je ne prétends du reste préconiser d'une manière absolue les soupapes de notre pompe, ni pour leur forme conique, ni pour leur nature métallique; mais tout en reconnaissant qu'elles méritent quelques reproches, et que des systèmes meilleurs peuvent y être substitués (comme par exemple des soupapes planes à surface de battement plus petite), je dois dire cependant qu'on s'est en général exagéré l'inconvénient qu'elles présentent sous le rapport de la durée, dans leur application à l'épuisement des mines. Ainsi j'ai acquis la certitude qu'elles peuvent faire un très

bon usage lorsqu'on a pris les précautions nécessaires pour l'épuration des eaux à élever, et que le métal dont elles sont formées a une composition et une dureté convenables. Ainsi nous les avons vues résister pendant une année entière à un travail continu, tandis que d'autres ont été mises hors de service en huit jours sous l'action d'eaux vitrioliques et impures (1). Après tout on les répare facilement en les repassant au tour, et en les rôdant ensuite de nouveau.

Les garnitures en cuir du piston et de la boîte dans laquelle passe sa tige, durent six mois au plus, c'est-à-dire beaucoup moins dans l'eau acide que dans celle du jour. Toutefois, il y a lieu de se féliciter encore d'un service aussi long, lorsqu'on considère que les cuirs de piston dans les anciennes pompes d'Huelgoat ne duraient moyennement

(1) Composition de l'alliage des soupapes et du corps de pompe :

	1re SOUPAPE.	2e SOUPAPE.	CORPS de pompe.
Cuivre.	85	88	87
Zinc	2	5	4
Étain.	11	6	8
Plomb.	2	1	1

Cet alliage, d'après la commande faite au fournisseur, aurait du être composé comme suit : cuivre 89, étain 11, avec tolérance de 1 à 2 parties de zinc et plomb.

que 4 à 5 jours; or le nombre de ces dernières ayant été de 59, on voit que pour une garniture du nouveau système, fonctionnant sous 15 atmosphères de pression, on en consommait autrefois 2000, chargées de moins de 10 mètres d'eau.

L'entretien de 118 clapets vient encore augmenter cet immense avantage. On ne peut évidemment attribuer cette plus longue durée du cuir qu'à la perfection du cylindre et à l'action conservatrice du corps gras dont ce dernier est continuellement enduit.

CHAPITRE III[e]. — *Supports et pose de toutes les parties de l'appareil. Précautions et mesures diverses de sûreté et de conservation.*

Pont de la machine motrice.

Le seul inconvénient que l'on puisse avec quelque raison reprocher au système de machines qui fait l'objet de ce mémoire, c'est la nécessité de suspendre dans le vide du puits l'appareil moteur lui-même, et par conséquent la difficulté de l'asseoir sur des supports invariables.

Il est toujours possible, sans doute, d'assurer une résistance convenable aux matériaux qui doivent composer ces supports, mais il n'en est pas de même à l'égard des points d'appui définitifs qu'il faut prendre dans les parois du puits, et quelquefois on trouvera un obstacle insurmontable dans la nature ébouleuse de ces dernières.

C'est ainsi qu'à Huelgoat il a fallu renoncer à l'avantage de placer le nouvel appareil d'épuisement dans un puits très convenable par sa position centrale, relativement aux travaux actuels d'ex-

ploitation. La même difficulté s'est présentée encore dans le puits définitivement choisi pour la machine; on a vu plus haut, quand il s'est agi du balancier, qu'il a fallu abandonner un point fixé par les conditions de la question pour en choisir un autre qui offrît plus de garanties de solidité.

Points d'appui du pont. Culées.

La roche qui avoisine ce point est un poudingue très ferme et sans apparence de strates; on y remarque seulement quelques veines ou fissures verticales parallèles au grand côté du puits, ou perpendiculaires à l'axe du pont projeté.

Cette circonstance m'a déterminé à ne pas appuyer ce pont directement sur le rocher; j'ai craint que de telles culées ne finissent par céder sous l'énorme pression et même sous les chocs qu'elles auraient à supporter, et je me suis décidé à les remplacer par d'autres en maçonnerie de pierre de taille reposant sur deux grandes voûtes, et à reporter ainsi tout l'effort des machines dans les quatre angles du puits, c'est-à-dire vers des points indéfiniment résistans et inébranlables. On voit ces dispositions sur le dess. n° 2, *fig.* 1, 2 et 3.

Ces voûtes α, ainsi que la maçonnerie à grand appareil qui les couronne, et qui sert en quelque sorte de matelas entre elles et le foyer du mouvement, sont établies sur les grands côtés du puits et enfoncées en arrière du boisage inférieur, formé de forts cadres en bois très rapprochés, garnis de madriers à la manière ordinaire.

Pour compléter le soutènement si important de cette partie du puits, on en a revêtu les deux petits côtés avec d'autres murs β′, soutenus par des voûtes β placées au-dessous des deux principales.

Ces culées artificielles $\alpha_1 \alpha_1$ sont couronnées par

deux assises de pierres de fort échantillon (un mètre de hauteur sur un mètre de lit), qui présentent les plans de coussinets, inclinés à 45 degrés, sur lesquels s'appuie le pont.

Ce pont est en fonte de fer; les parties principales qui le composent sont (voyez dessin n° 4, et dessin n° 2, *fig.* 1, 2 et 3) : Pont en fonte.

1° Les plateaux $\gamma\gamma$ s'appliquant sur la maçonnerie;

2° Les arceaux ou flasques θ;

3° Les contre-fiches $\mu\nu$.

Les plateaux, qui ont pour objet de répartir l'effort sur la plus grande masse de maçonnerie possible, sont d'une seule pièce. Ils présentent en dessus deux larges rainures à queue d'hironde γ_2, réunies par trois nervures γ_1, et destinées à recevoir les pieds des flasques. Au revers, ils portent trois bandes longitudinales $\delta\delta$ (ponctuées sur le rabattement qu'offre la *fig.* 2, et paraissant par leur bout sur la projection verticale *c fig.* 1), qui, cependant, sont interrompues en deux endroits $\delta_1\delta_2$, pour fournir passage à des pièces en fer forgé $\omega\omega_1\omega_2$ indépendantes du plateau, et dont l'utilité sera indiquée plus loin à l'article *contre-fiches*.

Ces bandes ont été ménagées dans le but de faciliter l'ajustement et la portée des plateaux sur les pierres de coussinet; on sait en effet combien il est difficile de dresser assez bien deux grandes surfaces planes, pour qu'elles s'appliquent l'une sur l'autre sans porte-à-faux. En outre, pour rendre le contact plus complet encore, on a rempli tous les espaces vides entre les deux surfaces avec du mastic d'Accum fortement comprimé. Enfin chaque plateau est cloué sur la pierre de taille au moyen de huit ancres ou goujons à écrou

que laisse voir la projection horizontale *fig.* 4. Ces ancres sont scellées par leur extrémité avec du plomb. Ceux de la rangée supérieure pénètrent jusque dans le poudingue, contre lequel la calée est adossée.

Les flasques se composent chacune d'une forte plaque (de 0^m,06 d'épaisseur) bordée tout autour d'une double nervure de renfort; cette nervure, qui est plus large dans les deux bouts pour servir de pied à la flasque, est taillée en queue d'hironde, et va se loger dans les rainures de même forme ménagées sur chaque plateau, sans toutefois les remplir entièrement : il reste des vides dans lesquels on chasse ensuite de longs coins en fer, qui établissent un premier moyen de réunion entre les plateaux et les extrémités des flasques. Cet assemblage est complété et rendu absolument invariable au moyen des boulons à écrous *r*, qui traversent les uns et les autres : les têtes de ces boulons sont placées au revers des plateaux, et des trous ont été faits dans la pierre, afin de pouvoir, après en avoir enlevé les écrous, les y plonger; précaution indispensable s'il s'agissait jamais de démonter le pont : c'est pour faciliter cette manœuvre que l'extrémité filetée de ces boulons est munie d'un piton.

Les arceaux ainsi placés sont reliés dans leur milieu par deux brides ou traverses en fer forgé $\lambda\lambda'$, placées l'une en haut, l'autre en bas, et qui portent à chaque bout une palette percée de deux trous. De grands boulons à écrous enfilent ensuite ces trous, ainsi que d'autres pratiqués dans les bases des cylindres Y et dans les nervures supérieures et inférieures des arceaux, un peu renflées à cet effet. L'objet de ces brides est de rendre so-

lidaires les deux élémens principaux du pont, et, par conséquent, d'assurer à celui-ci une plus grande rigidité dans le sens transversal.

Le genre de construction que je viens de décrire place évidemment les arceaux dans la position de pièces encastrées par les deux extrémités, et multiplie par conséquent leur résistance relative; aussi le calcul assigue-t-il au pont une force suffisante pour supporter la charge qui lui est imposée. Cependant comme il peut survenir des cas, en dehors de toute prévision, où une force vive plus ou moins considérable viendrait ajouter son action à celle de la simple pression hydrostatique qui a servi de base à mes calculs, j'ai cru devoir renforcer encore le système par l'addition de contre-fiches qui arc-boutent les flasques par leur milieu.

Ces contre-fiches consistent en deux cadres $\mu\nu$ fondus d'une seule pièce, qui, placés transversalement sous les flasques du pont, se joignent par leurs côtés supérieurs, et s'appuient l'un contre l'autre selon le plan z; on les maintient ensemble au moyen de deux sergens en fer plat, à talons, posés par-dessus dans l'aplomb des flasques. Le côté inférieur μ de ces cadres est cylindrique et s'emboîte dans les sabots ω_1 des deux étriers plats en fer forgé $\omega\omega$, qui, appliqués d'abord contre la partie verticale du mur de culée, passent sous le plateau correspondant, et s'accrochent contre le bord supérieur de ce dernier au moyen des têtes à double talon ω. Le système entier est ensuite fortement coincé sous chaque flasque du pont, au moyen de deux coins de fer opposés qui glissent l'un sur l'autre entre le sergent à talons posé à cheval sur les deux têtes des cadres et la palette

Contre-fiches.

de la traverse, qui relie inférieurement les deux arceaux entre eux.

Les plateaux de base des cylindres sont fixés sur le pont chacun au moyen de quatre boulons, deux grands, ζ, déjà cités, et deux petits, ζ', qui traversent des renflemens correspondans ménagés dans les nervures supérieures des flasques. Toutefois ces plateaux ne posent pas immédiatement sur ces dernières, mais bien sur des traverses en fer ρρ interposées, qui offrent à leurs extrémités des rainures dans lesquelles glissent des coins ou cales. C'est à l'aide de ces dernières qu'on établit de niveau les bases des cylindres qui, en définitive, ne sont posés que sur quatre points. Il est bien entendu qu'on ne serre les écrous des boulons d'attache ζζ' que lorsque ce calage ne laisse plus rien à désirer.

Le pont, construit comme je viens de l'indiquer en détail, offre une solidité et une fixité parfaites; non-seulement on n'y aperçoit aucun mouvement, mais la main n'y peut même découvrir le moindre *frémissement* au moment où les pistons PP reçoivent l'impulsion de l'eau motrice.

Supports des pompes.

Des résultats aussi satisfaisans ne m'ont cependant pas déterminé à employer un pont semblable pour supporter les pompes au fond du puits; il m'a paru que l'importance d'une invariabilité absolue n'était pas la même dans cette partie de l'appareil, sujette d'ailleurs à des déplacemens répétés par suite de l'approfondissement des travaux; déplacemens qui, ne pouvant être que successifs pour les deux pompes, exigeaient l'emploi simultané de deux ponts placés l'un au point de départ, l'autre à celui de la nouvelle installation.

J'ai donné ici la préférence à un système plus

économique consistant en une charpente consolidée par des armatures en fer, qui, à l'usage, s'est trouvé parfaitement résistant, et dont la durée doit être grande aussi, parce que le bois, mouillé sans cesse par les filtrations dans cette région du puits, n'est pas exposé à se pourrir comme il le serait dans la région supérieure.

L'appareil des pompes exige à la fois deux supports différens; il en faut un pour les deux corps de pompes, et un second pour les chapelles des soupapes.

Les premiers sont supportés par deux estempes E, formées chacune de deux pièces de bois de chêne de choix, équarries, dressées sur toutes les faces et réunies l'une à l'autre par des clefs transversales à double queue d'hironde. Elles portent d'un bout sur le rocher, où leur place a été taillée et dressée à la pointe; mais, du côté opposé, la paroi du puits n'offrant pas à beaucoup près la solidité désirable, on a eu recours à l'emploi d'un grand plateau de fonte M, ayant sur une de ses faces des côtes ou nervures qui forment deux espèces d'encadremens pour recevoir les extrémités des estempes. Ce plateau est traversé par quatre boulons à écrous ou ancres, solidement scellés dans le rocher, qui le fixent sur un plan de pose, dressé aussi bien que possible, et sur lequel on a appliqué un enduit de ciment romain.

Sur ces estempes sont fixés deux plateaux rectangulaires, ou lunettes en fonte de fer *a a*, évidés circulairement à leur milieu. L'ouverture ronde qu'ils présentent a un diamètre un peu plus grand que celui de l'intérieur des pompes, et se trouve renforcé par une nervure ou saillie cylindrique *a*, munie extérieurement de huit dés *a''*. C'est dans

cette saillie et sur ces dés que l'extrémité inférieure de la pompe est emboîtée et boulonnée. Quatre boulons traversent ces plateaux et les fixent sur les estempes ; celles-ci sont consolidées en dessous par deux pièces de renfort, à nervure, en fonte, contre lesquelles les écrous des boulons prennent leur appui.

Les supports de la chapelle E sont construits de la même manière que les deux précédens; seulement en raison de la charge plus grande qu'ils ont à supporter, on leur a donné des dimensions plus fortes en hauteur et en épaisseur. Situés d'ailleurs à peu de distance au-dessus des pompes, ils se sont trouvés dans les mêmes circonstances par rapport au rocher du puits; de là l'obligation de les appuyer aussi par une de leurs extrémités sur des plaques en fonte. Ces nouvelles estempes sont garnies en dessus de deux plateaux juxtà-posés *b b* à peu près pareils à ceux *a a* de la pompe, ayant chacun une ouverture médiane circulaire, dans laquelle passe librement la partie inférieure conique de la chapelle. En dessous elles sont armées d'une pièce de renfort, à nervure également en fonte (représentée à part sous trois aspects par les *fig.* 11, 12, 13) : de forts boulons réunissent ces diverses pièces entre elles.

Armatures et chaînes de fer consolidant les supports des pompes.

Dominé par plusieurs circonstances qui se rapportent soit à l'extrême exiguité de l'espace disponible pour la manœuvre, soit aux sujétions réciproques entre les différentes parties des pompes et de leurs accessoires, je n'ai pas pu donner aux estempes des dimensions proportionnées à leur longueur et à l'effort qu'elles étaient destinées à supporter. J'ai dû suppléer dès lors à l'insuffisance de résistance de ces pièces par une disposition qui

en diminuât la portée, sans pour cela recourir à des moyens encombrans.

Cette double condition m'a paru devoir être complétement satisfaite par un système de chaînes de suspension qui, prenant leur point d'appui supérieur dans le rocher, viendraient saisir les estempes par leur milieu.

Ces chaînes sont au nombre de six, savoir : quatre *mn* pour les supports de la chapelle, et deux $m_, n_,$ pour l'estempe antérieure des pompes; l'estempe postérieure étant soutenue par la bride verticale *t*.

Chacune de ces chaînes *mn* est formée de trois parties principales; la première est une tringle carrée, terminée à son extrémité supérieure par un œillet alongé *n'*, et en bas par un œillet circulaire qui lui sert de moyen d'accrochage contre l'extrémité d'un essieu en fer *e e'*, placé transversalement sous les deux estempes, et qui s'emboîte dans les emplacemens demi-circulaires *f* des plaques de renfort inférieures (*fig.* 11, 12, 13).

Les deux autres pièces de la même chaîne sont deux mailles longues *mm'* accouplées (*fig.* 2, 4), qui embrassent en haut la tête circulaire *x* d'une ancre (espèce de piton) contre laquelle on les fixe au moyen d'un boulon à clavette, et en bas les deux joues de l'œillet alongé qui termine la branche simple. Le moyen de réunion entre ces trois pièces consiste en deux cales demi-cylindriques à talons, entre lesquelles glissent deux coins opposés *y*. Ces coins offrent le moyen de donner à toutes ces chaînes le degré de tension convenable, et qu'on essaie de rendre aussi uniforme que possible, pour la plus exacte répartition de l'effort total auquel elles doivent résister.

Les ancres dont les tiges carrées ont été taillées à redans, sont scellées dans le rocher avec de bon mortier hydraulique, et enfoncées à grands coups de mouton donnés sur le talon x. Enfin, elles sont serrées fortement à l'orifice des trous avec des coins en acier, que l'on cassait dès qu'ils refusaient d'entrer.

Les chaînes inférieures $m_{i}n_{i}$ ne diffèrent des précédentes que par la grosseur du fer dont elles sont composées, et par la forme de l'extrémité inférieure n, qui est ici un œillet double placé à cheval sur la tête aplatie du piton d'attache d (*fig.* 2), Un boulon à clavette traverse à la fois les deux joues de l'œillet et la tête du piton, qui à son tour traverse l'estempe antérieure E des pompes, et se trouve arrêté en dessous par un écrou K. L'estempe postérieure des pompes est soutenue au moyen d'un tirant vertical qui s'accroche en haut sur le bout de l'essieu e, et à sa partie inférieure, terminée par un œillet double, contre la tête d'un piton d' (*fig.* 4) qui traverse l'estempe ainsi que la plaque de renfort Q; un écrou K sert à tendre ce tirant de suspension.

Pose des diverses parties de la machine.

Je vais m'occuper maintenant de la pose des divers élémens de la machine. Cette partie de notre travail a été constamment hérissée des plus grandes difficultés, qui, je dois le dire ici, n'ont pu être vaincues qu'à force de persévérance, de travail moral et matériel, de temps et de dépense. On ne s'en fera qu'une faible idée en considérant que c'est dans un espace de 2^{m},00 sur 2^{m},70, occupé enco e en partie par un attirail en activité appartenan. à l'une des vieilles machines; dans un milieu obscur et le plus souvent traversé par une abondante pluie, qu'il a fallu manier des masses

considérables, les ordonner avec précision, leur procurer des supports, tout en songeant sans cesse au salut des hommes et des choses, ainsi qu'à l'avenir, c'est-à-dire aux moyens de changer les pièces que l'usage pourrait un jour détériorer, etc. Il est vrai que dans la partie supérieure du puits, dans la chambre de la machine, on a pu s'étendre un peu; mais là les masses à réunir étaient plus considérables, et la condition d'une absolue précision plus impérieuse aussi. En résumé, j'engage ceux qui pourront être chargés de constructions analogues, à multiplier par un coefficient considérable les évaluations de temps et de dépenses qui seraient calculées sur des données empruntées à des travaux faits au jour.

Puisqu'il vient d'être question tout à l'heure des pompes, je vais commencer par elles cette partie de ma description.

Pose des pompes.

Les corps de pompes sont posés à sec sur les plateaux qui recouvrent les estempes inférieures, et s'y emboîtent par la saillie c', *fig.* 1, qui dépasse l'oreille I; celle-ci porte sur les huit dés a'', et est fixée sur chacun par un boulon.

On voit au-dessus des pompes deux estempes Y arc-boutées vers en haut par des contre-fiches, dont les extrémités supérieures sont engagées dans le rocher. Deux montans ou étais en fonte J, s'appuyant en bas sur l'oreille de la boîte à cuir, sont coincés en haut contre les estempes Y, dans l'épaisseur desquelles on a noyé, à l'aplomb des étais, des platines de fer, pour les garantir des déchiremens que pourrait occasioner le coinçage, et en même temps pour faciliter cette opération. Ces étais ont évidemment pour objet de s'opposer à la tendance qu'a la pompe de se soulever sous l'effort de la

puissance, et ils complètent ainsi le système de supports à chaînes décrit ci-dessus, dont la rigidité ne laisse rien à désirer.

Les chapelles se posent ensuite sur leurs plateaux respectifs; ceux-ci présentent autour de leur ouverture centrale une saillie cylindrique b', appuyée en dehors par huit dés b'', qui ont à leur face supérieure une rainure dans laquelle glisse un coin de fer i. L'oreille inférieure O de la chapelle vient porter sur ces coins ou cales qui servent à la placer de niveau et à la faire monter ou descendre à volonté, jusqu'à ce que sa tubulure corresponde exactement à celle de la pompe.

La pose des autres pièces n'a besoin d'aucune explication et se devine à la simple inspection des figures. Il s'agit seulement de décrire les moyens employés pour rendre imperméables les joints entre des pièces contiguës. Tous ces joints se font à l'aide de boulons à écrous; mais quant aux matelas imperméables qu'on y interpose, on peut les diviser en quatre catégories.

1° Lorsqu'il y a emboîtement d'une pièce dans l'autre, comme c'est le cas de la boîte à cuir sur le cylindre, de la tubulure de ce dernier contre celle de la chapelle, etc.;

2° Quand les surfaces à réunir sont planes; c'est le cas des tuyaux d'aspiration A et de tous les joints des colonnes montantes et de chute;

3° Quand le joint doit être mobile, comme on le voit en v au-dessus de la chapelle;

4° Lorsqu'enfin il s'agit de petites pièces qu'il faut souvent démonter, comme les tubes et robinets u_1 u_2 u_3, les tubes du régulateur, etc.

Dans les deux premiers cas, on se sert d'un mastic gras fait avec de la chaux vive en poudre

fine, de l'huile de lin fortement lithargirée et du chanvre haché par bouts de 3 ou 4 centimètres; ce mélange est rendu aussi intime que possible par un battage long-temps continué; sa consistance finale doit être celle d'une pâte dans laquelle on peut à peine faire entrer le bout du doigt. En y incorporant un peu de minium, il acquiert la propriété de durcir plus vite, ce qui, dans certains cas, peut présenter de l'avantage.

Lorsqu'il s'agit de faire un joint de la première espèce, par exemple, celui de la boîte à cuir sur le cylindre, on pose sur le bord supérieur de ce dernier une tresse plate en chanvre, circulaire, aussi large que possible, et d'environ $0^m,015$ d'épaisseur uniforme, préalablement imbibée d'huile siccative et couverte sur ses deux faces d'une couche de mastic; on loge aussi un peu de cette matière dans l'angle rentrant sous le plateau de la boîte à cuir; puis après avoir réuni les deux pièces, on les serre à refus au moyen des boulons qui traversent les deux brides, en regard l'une de l'autre.

La boîte de la soupape inférieure se pose de la même manière sur le fond de la chapelle; seulement, comme il n'y a pas ici de boulons, on opère une compression momentanée avec une forte vis d'emprunt qui appuie sur son milieu, et qu'on enlève dès qu'on a enfoncé dans son pourtour les trois coins de serrage dont il a été parlé plus haut.

La boîte de la soupape inférieure est garnie de deux tresses, l'une au-dessus, l'autre au-dessous du bord *s*, qui est pincé entre les deux parties de la chapelle.

Un joint de la seconde espèce est représenté dans la *fig.* 16. On dispose à l'avance un manchon

cylindrique de cuivre rouge, *fig.* 17, 18, offrant en dehors et vers son milieu une côte ou saillie circulaire d'environ 0m,02, obtenue par la retreinte du métal sous le marteau d'un chaudronnier. On entoure ce manchon d'une légère couche de filasse huilée, puis on loge, dans les angles rentrans *k* formés des deux côtés de la saillie, des bourrelets de mastic qu'on relève vers les bords du manchon, on recouvre le tout d'une nouvelle couche de filasse. Le manchon ainsi garni est ensuite enfoncé successivement dans les deux tuyaux qu'il s'agit de réunir; le serrage des huit boulons complète l'opération qui se fait du reste avec beaucoup de promptitude, et n'exige d'autre soin que celui de bien dessécher les oreilles des tuyaux avec de la chaux vive et de les enduire ensuite avec de l'huile pour y faire adhérer le mastic.

Les joints faits comme il vient d'être dit, mais surtout ceux de la première espèce, avec la tresse, sont excellens. Nous en avons 300 dans nos deux machines, et pas un seul n'a laissé suinter une goutte d'eau lorsqu'ils ont été mis à l'épreuve du travail ordinaire. Ils possèdent l'avantage précieux de résister, même tout frais, à des pressions hydrauliques considérables, à 50, 60, jusqu'à 100 atmosphères; la résistance est indéfinie lorsque le mastic a eu le temps de durcir. Aussi ne saurais-je trop recommander l'emploi de ces moyens, et surtout le mastic qui en fait la base, à tous les constructeurs d'appareils hydrauliques à haute pression.

Les joints des 3e et 4e catégories se font avec du cuir : dans le premier cas, cette matière est façonnée en chapeau ambouti, ainsi que j'ai eu l'occasion de le dire plus haut à propos de la pièce

L'; dans le second cas, le cuir est coupé par rondelles que l'on place au nombre de deux ou trois entre les surfaces dont il s'agit de clore la jonction, et on les fait traverser par les boulons de serrage.

Supports et pose de la colonne montante.

La pose de la colonne montante n'offre aucune particularité bien remarquable. Je dirai seulement que les tuyaux sont supportés de distance en distance par un système de charpente (dess. n° 2, *fig.* 1, 3) composé de deux pièces ou estempes en bois dont les extrémités sont, comme à l'ordinaire, encastrées dans le rocher, et de quatre petites traverses entaillées sur ces pièces et embrassant les deux tuyaux correspondans, dont elles soutiennent les oreilles; des taquets appuient ces traverses en dehors et les empêchent de s'éloigner des tuyaux. Les distances entre les divers supports de la colonne ne sont pas égales, car le choix de leur emplacement n'a pas été libre à beaucoup près. Tantôt on a été contrarié par les nombreuses galeries qui aboutissent dans le puits, ou par la nature peu solide du rocher, tantôt par le boisage du puits ou la présence de la vieille machine. D'autres fois enfin, on a trouvé des obstacles dans la position peu favorable des oreilles des tuyaux, ou dans la nécessité de poser au même lieu d'autres estempes relatives aux attirails, ainsi qu'on le verra plus loin. En résumé, les colonnes sont soutenues 18 fois sur une hauteur de 170 mètres; mais elles ne s'appuient nulle part sur les cadres du puits, et se trouvent, par conséquent, indépendantes des tassemens auxquels ces derniers sont exposés.

Montage des attirails.

Le montage des attirails ne comporte pas de description détaillée; chacun peut se faire une idée de cette opération qui n'a présenté que les

difficultés de localité mentionnées plus haut. Le soin principal qui a dû y présider a été de placer les tirans et les chaînes dans une position verticale, et d'assurer le maintien de cette verticalité au moyen d'un certain nombre de prisons ou de guides distribués dans la hauteur du puits et dans lesquels les maîtresses tiges passent à frottemens doux.

On voit, dans la boucle d'attache inférieure de la chaîne (*fig.* 2), une pièce *h h'* qui y fait fonction de clavette dormante à talons : on l'a prolongée des deux côtés du joint pour servir en même temps de traverse supérieure à un étrier qui, descendant le long du corps de pompe, recevra, au milieu de sa traverse inférieure, la tige d'une pompe additionnelle nécessaire pour l'approfondissement ultérieur du puits. Cette observation a été omise plus haut dans la description particulière de l'attirail.

Montage de la machine motrice.

Lorsqu'il a été question du pont de support des machines, j'ai fait voir comment on a placé et assujetti dans une position horizontale les plateaux de base des grands cylindres ; c'est sur cette fondation unique et invariable que l'on a édifié tout l'appareil moteur. Ainsi les cylindres Y, emboîtés d'abord sur la saillie circulaire exactement tournée qui forme la partie centrale des plateaux, boulonnés ensuite sur ces derniers, après interposition d'une tresse de chanvre mastiquée, ont été placés dans une situation rigoureusement verticale. Après le durcissement des matelas, la tubulure T' de la pièce HH' a été emboîtée et boulonnée sur celle du cylindre qui sert alors de support au régulateur tout entier : on obtient la verticalité de ce dernier par un serrage convenable des bou-

lons du joint TT, garni aussi d'une tresse. Toutes les autres pièces se posent sans difficulté; les tuyaux ou joints mobiles O, S, facilitent le raccordement des machines avec leurs colonnes de chute et de balancier.

Les quatre lignes de tuyaux qui se trouvent à deux étages différens dans la grande galerie de communication entre le puits principal et celui de chute sont posées sur des estempes transversales; ensuite elles sont arc-boutées par quelques oreilles contre le plafond et le sol de la galerie, au moyen d'étais inclinés qui ont pour objet de s'opposer à l'effort de réaction qui tend à faire reculer ces tuyaux et à les éloigner des machines. Les joints mobiles O, S, doivent incessamment compenser les plus petites flexions dans ce sens, et détourner du régulateur tout tiraillement fâcheux.

Les coudes au bas du puits de chute sont soutenus par une charpente composée d'estempes transversales et d'arc-boutans dirigés en deux sens différens vers la paroi postérieure du puits, c'est-à-dire de la manière la plus rationnelle pour résister à la tendance au recul de cette partie des colonnes. Plus haut, ces dernières, devenues verticales, sont supportées absolument comme les tuyaux montans des pompes, ainsi qu'on le voit dess. n° 1, *fig.* 1. Le nombre des supports pour la colonne entière, qui a 74 mètres de hauteur, est de 10. Enfin, dans la partie supérieure, où les deux lignes de tuyaux sont de nouveau horizontales, on n'a eu besoin pour les soutenir que de simples chantiers en bois placés sur le sol de la galerie-aqueduc.

Dans toutes ces conduites d'eau, les joints on

été faits avec des manchons de cuivre et de mastic gras, ainsi qu'il a été dit plus haut.

Descente des machines et des matériaux.

Pour rendre facile et sûre la descente des diverses parties des machines, comme aussi des matériaux de toute espèce qui ont servi à leur établissement, j'avais fait construire à l'orifice du puits principal un engin puissant et solide, consistant en un treuil à frein vertical mu par des chevaux, et en une charpente de support pour la poulie ou molette de renvoi placée au-dessus de l'orifice du puits, le tout convenablement et réciproquement arc-bouté.

Les diamètres du manége, du tambour et de la roue à frein étaient respectivement de 12 mèt., $1^{m},30$, 3 mèt.; cette dernière pouvait être serrée par deux longues mâchoires horizontales et une combinaison de leviers, dont le dernier était sous la main du toucheur, avec une énergie supérieure à l'effort de quatre chevaux. Aussi la descente de presque tous les objets s'est-elle effectuée avec une grande facilité par la seule action modératrice de ce frein. On n'attelait les chevaux que pour relever le câble, ou dans le cas où il fallait donner au mouvement plus de précision ou des directions plusieurs fois opposées, par exemple, au moment de la pose des pièces. Le câble était simple pour les manœuvres ordinaires et avait $0^{m},07$ de diamètre; on l'a doublé lorsqu'il s'est agi de descendre les grands cylindres dont le poids s'élevait à 6.500 kilogr., compris les amarrages, etc.; ce doublement s'est fait au moyen d'une mouffle simple, c'est-à-dire que le cordage, après avoir passé sur la molette ordinaire, se repliait sous une poulie mobile à chappe, fixée sur le cylindre, et venait se rattacher à la charpente qui

recouvre l'orifice du puits : on a donné à la seconde poulie un diamètre un peu grand ($0^m,80$), pour tenir écartées l'une de l'autre les deux branches du câble, qui ont une tendance continuelle à se commettre ensemble et à faire tourner le fardeau sur lui-même. Pour le montage des colonnes du puits de chute, le câble a été replié vers ce dernier dans la galerie supérieure A_1, au moyen de deux poulies de renvoi.

Le moment est venu maintenant de parler de divers objets accessoires plus ou moins importans que j'avais cru devoir écarter, comme digression inopportune, de la description précédente, qui, pour plus de clarté, ne devait comprendre que les parties essentielles des machines. Ces objets sont tellement dissemblables entre eux qu'ils ne sont susceptibles d'aucun classement méthodique; je vais donc les présenter dans l'ordre qui me paraîtra le plus propre à éviter les redites. Précautions diverses.

On sait que les tuyaux de fonte de fer, fabriqués dans les meilleures fonderies, contiennent souvent des défauts cachés qui en atténuent considérablement la résistance, ou donnent lieu à des fuites d'eau sous des pressions plus ou moins considérables; il m'a donc paru nécessaire de soumettre tous les tuyaux destinés pour nos machines à un examen préalable rigoureux et à des épreuves proportionnées aux charges qu'ils étaient appelés à supporter. Epreuve des tuyaux.

Ces épreuves ont été faites, comme pour les chaudières des machines à vapeur, au moyen d'une presse hydraulique, munie d'une soupape indicatrice, chargée d'un poids que l'on faisait varier selon les dimensions et la destination de chaque tuyau. Ce poids a toujours correspondu au triple

de la pression habituellement supportée par ce dernier. La clôture des orifices a été obtenue avec des plateaux en fonte et un matelas en mastic gras avec tresse de chanvre, serrés par des boulons à écrous contre les oreilles de la pièce qui était posée près de terre dans une position presque horizontale. L'un des plateaux offrait deux ouvertures, l'une centrale pour recevoir le tuyau d'injection, l'autre, placée au point culminant, pour la sortie de l'air, et munie d'un bouchon creux à vis.

Ces essais ont fait reconnaître des défectuosités tellement nombreuses, qu'il eût fallu rejeter la moitié des tuyaux, s'il n'y avait pas eu moyen de remédier au mal. Les défauts, presque tous identiques, résultaient d'une trop grande porosité de la fonte en certains points, criblés alors d'ouvertures capillaires par lesquelles l'eau jaillissait en filets plus ou moins fins : quelquefois, quand le jaillissement était peu considérable, on parvenait à l'arrêter en mattant la partie défectueuse avec un marteau ; mais presque toujours ce moyen a été insuffisant.

Moyen pour rendre les tuyaux de fonte imperméables et pour les préserver de l'oxidation à l'intérieur.

Ayant pensé qu'en injectant dans ces nids poreux un liquide visqueux, inattaquable à l'eau et susceptible de se solidifier au bout d'un certain temps, on arrêterait les fuites, j'ai fait l'essai suivant qui a complétement réussi.

Un des tuyaux vicieux précédemment essayés avec de l'eau a été rempli d'huile de lin siccative, puis soumis de nouveau à l'action de la presse, alimentée elle-même avec de l'huile de lin ordinaire. Aucun suintement gras ne s'étant fait voir à la surface extérieure de la pièce, on a cessé l'épreuve. Le même tuyau repris au bout d'un

certain temps a été essayé de nouveau avec de l'eau; mais cette fois il est resté imperméable. J'ai remarqué de plus que l'huile siccative s'imprégnait un peu dans la fonte (qui était grise et d'une contexture généralement assez lâche), et laissait dans l'intérieur du cylindre un enduit ou vernis fortement adhérent, qui m'a paru très propre à les défendre contre l'oxidation.

D'après cette expérience décisive, j'ai fait presser à l'huile tous les tuyaux des deux machines, et *aucun* n'a plus laissé passer depuis une seule goutte d'eau. Il y a plus, ayant eu l'occasion de démonter un des tuyaux inférieurs de la colonne montante, je me suis assuré que le vernis appliqué dans son intérieur l'avait efficacement préservé de l'action des eaux acides avec lesquelles il avait été en contact pendant trois années. La dissolution a été insensible même auprès des orifices, en présence des manchons d'emboîtement en cuivre qui semblaient devoir former là un élément voltaïque. L'interposition du mastic gras serait-elle ici un obstacle au développement des courans électriques (1)?

Les tuyaux, comme toutes les autres pièces en fonte et en fer de la machine, ont été défendus en dehors contre la rouille au moyen d'une peinture de minium par couches répétées.

Les colonnes, généralement supportées par des Joints compensateurs.

(1) Ces observations me paraissent devoir jeter quelque jour sur la solution de l'importante question des tuyaux de conduite de Grenoble; je suis porté à croire que des tubercules ferrugineux ne s'y formeraient pas si leur surface intérieure recevait une préparation semblable à celle qui a si bien réussi dans nos tuyaux.

estempes en bois encastrées dans le rocher, sont évidemment exposées à quelques tassemens. D'un autre côté, les colonnes de chute, conduisant des eaux dont la température peut varier depuis 0° jusqu'à 15° ou 20°, sont susceptibles d'éprouver dans leur longueur quelques légères variations.

Ces considérations, auxquelles se joint la nécessité de se ménager un moyen facile de changer un tuyau devenu défectueux, m'ont déterminé à intercaler dans les colonnes, tant montantes que de chute, un certain nombre de joints mobiles ou compensateurs absolument semblables à celui qui est dessiné en $O_, S_,$, d. n° 1. On voit un de ces joints composé de deux pièces qui s'emboîtent l'une dans l'autre en O' (dess. n° 2, *fig.* 1) à la colonne de chute. Sur 74 mètres de hauteur, cette dernière contient trois de ces joints; il y en a cinq dans les colonnes montantes sur 170 mètres de hauteur.

Rupture des attirails; conséquences fâcheuses de ces accidens; remèdes.

L'accident le plus grave auquel nos machines soient exposées dans le cours de leur travail, c'est sans contredit la rupture des attirails, et, il faut en convenir, la chose est possible, malgré les calculs de résistance qui ont fixé leurs dimensions, et les épreuves qu'on leur a fait subir au moment du montage.

En supposant le cas le plus défavorable, celui où la rupture a lieu au tirant supérieur, on voit que d'un côté le piston principal, détaché de la résistance et soumis à tout l'effort du moteur, montera dans le cylindre avec une accélération extrême, et pourra causer au terme de sa course des dommages considérables. D'un autre côté, l'attirail, abandonné à lui-même, ou plutôt à la gravité qui sollicite son énorme masse, retombera dans le puits, et tendra à y exercer des ravages

proportionnés à l'énorme force vive dont il sera animé. Des dispositions particulières ont été faites pour remédier au double inconvénient que je viens d'indiquer.

D'abord, quant au piston, j'ai renoncé à vouloir l'arrêter au haut de sa course par un obstacle invincible. Une interruption aussi brusque d'une colonne d'eau animée d'une très grande vitesse, devait avoir pour résultat inévitable une réaction énergique contre les parois du système et la rupture immédiate des pièces de moindre résistance, telles que les cylindres du régulateur. Il m'a paru préférable de laisser le piston s'élever librement au-dessus de l'orifice du cylindre, jusqu'au terme marqué par sa vitesse initiale, et encourir le faible inconvénient de jeter dans le fond des travaux le volume d'eau contenu dans l'appareil, soit 19 mètres cubes.

En conséquence, on a placé sur l'orifice du cylindre une espèce de cage composée de six montans en fer y, reliés entre eux vers le haut par un cercle du même métal y'. Cette cage a pour but de guider le piston dans son ascension accidentelle et dans son retour à sa position primitive. Elle est surmontée d'un système de charpente φ, qui est une dernière barrière opposée au mouvement désordonné du piston. Cette charpente sert encore de support à une grue en fonte nécessaire pour la pose et la réparation des différentes parties de la machine, et notamment du piston. D'un autre côté, pour éviter tout choc du manchon l contre la boîte de cuir sous la base du cylindre, on a alongé la tige du piston d'une quantité suffisante.

Mais ce n'était point assez : il fallait encore son-

ger à arrêter l'affluence de l'eau motrice dans la colonne de chute, et écarter le danger d'une inondation souterraine trop considérable. Les précautions suivantes ont été prises à cet effet.

Précautions diverses contre les irruptions d'eau motrice ver le fond de la mine.

L'orifice des tuyaux de chute dans le bassin supérieur a été muni d'un clapet *m*, tournant à charnière autour d'un axe horizontal qui porte un contre-poids m_1, à l'une de ses extrémités, et à l'autre un tirant aboutissant à un levier placé au-dessus du pont du bassin. Le surveillant, placé en cet endroit (où il est aussi préposé à l'épuration des eaux), a donc le moyen de fermer l'orifice de prise d'eau dès qu'un accident se manifeste; il peut disposer aussi du *robinet* adapté en *q*, au point culminant du siphon, pour le purger d'air au besoin, et quand le niveau de l'eau est assez élevé, il peut, dis-je, en ouvrant ce robinet, arrêter encore le jeu du siphon.

Il y avait possibilité, sans doute, de se rendre indépendant de la volonté d'un ouvrier pour manier ces deux instrumens de sûreté, en les faisant fonctionner par un renvoi de la machine, au moment même où le piston sort du cylindre; mais il en serait résulté une complication de mécanismes peu en rapport avec l'inconvénient auquel il s'agit de parer, et qui se réduit à faire tomber encore dans la mine toute l'eau contenue dans les deux tiers du bassin, soit 24 mètres cubes.

J'ai donc laissé les choses dans cet état, et je me suis contenté pour suppléer à l'inattention du surveillant, d'empêcher que la colonne ne fût alimentée par de nouvelle eau. Le moyen employé pour cela consiste simplement en un flotteur (non représenté au dessin) qui ferme le cla-

pet *m*, lorsque le niveau de l'eau est descendu à environ 0m,90 du fond du bassin.

L'eau, qui continue alors d'affluer, trouve une issue par un trop plein *n* habituellement ouvert, placé sur le côté de la galerie, et dont le fond est marqué au dessin par une ligne ponctuée. Ce trop plein, qui est appliqué dans sa partie verticale contre une des parois du puits de chute, se compose d'une suite de conduits en bois, rectangulaires, ayant dans œuvre 0,32 sur 0,22, qui sont assemblés en sifflet et soutenus par les supports des tuyaux de chute. Il devient rond en n_1, pour s'adapter contre un tuyau coudé en fonte n_2, qui change la direction de l'eau, et la jette par l'embouchure *n*, dans la galerie d'écoulement.

Si ce trop plein devait devenir insuffisant ou s'obstruer, l'eau finirait par passer par-dessus le barrage en maçonnerie O_4, construit en aval du bassin supérieur, et se précipiterait dans le puits de chute, et par conséquent, dans les travaux souterrains, puisque la machine est placée en dessous de la galerie d'écoulement. Un inconvénient aussi grave ne pouvait pas rester sans remède; aussi ai-je songé à établir à la hauteur du plafond de cette galerie un toit incliné *f*, formé de forts madriers en chêne, recouvert de plomb et un peu encastré dans le rocher d'alentour, où il est garni de ciment romain. On a eu soin d'y ménager un regard ou trappe d'une grandeur égale à celle de la plus forte des pièces de rechange que l'on pourrait avoir à descendre dans le puits. Ce toit arrêtera toutes les eaux qui, pour une cause quelconque, et notamment par la rupture d'un tuyau ou du trop plein, tomberont dans le puits de chute; il complète ainsi la série des mesures

de sûreté opposées à toute irruption soudaine de l'eau du jour dans les travaux souterrains.

On peut cependant objecter encore que les eaux rendues dans la galerie d'écoulement offrent toujours quelque danger de retour, soit par suite d'éboulis dans la partie d'aval, soit par tout autre obstacle qui entraverait leur cours. Quant aux éboulis, il y a été pourvu, ainsi qu'on le verra dans le chapitre suivant; pour les autres entraves, j'ai pensé qu'on obtiendrait un degré de sécurité suffisant en sacrifiant une partie de la chute pour élever à l'origine de la galerie un barrage S_4 en maçonnerie, de $0^m,80$ de hauteur, par-dessus lequel les pompes et les balanciers déchargent leurs eaux. Il ne tombe donc au fond du puits de chute que le produit des robinets q, q_1, lorsqu'on est obligé de vider la machine, ainsi que celui des sources du terrain lui-même; mais il existe au-dessous une grande fontaine N', construite en bonne maçonnerie imperméable, où les eaux se rassemblent pour être épuisées de loin en loin par une petite pompe, qu'on ne s'est même pas donné la peine de faire conduire par la machine.

Dispositions pour retenir l'attirail échappé. Moyen particulier pour amortir le choc sur les points d'arrêt.

Après avoir examiné les conséquences de la rupture de l'attirail en ce qui concerne l'échappement du piston principal, il me faut dire aussi ce que devient cet attirail qui tombe dans le puits, et comment on est parvenu à le retenir dans sa course, et à détruire, sans réaction nuisible à sa conservation, l'énorme force vive dont il est animé.

La maîtresse tige en bois, qui est ici prise pour exemple, était trop pesante (15.000 kil.) pour qu'on songeât à l'arrêter par un seul point; en

multipliant au contraire les moyens d'arrêt, on augmentait les chances d'un amortissement complet de la force vive, tout en éloignant celles du dommage auquel l'attirail est exposé dans une telle occurrence. Je me suis assuré que cinq points d'arrêt suffiraient, c'est-à-dire qu'il y avait possibilité d'amortir le choc de 3.000 kilogr. tombant de $2^m,30$ de hauteur.

Le choix du matelas élastique le plus propre à produire un tel effet, et le plus facilement applicable à notre cas particulier, a été pour moi l'objet d'essais nombreux et variés. J'ai successivement et inutilement mis en expérience des ressorts en acier de toute forme, des réservoirs d'air, de l'eau comprimée passant par un orifice de grandeur décroissante. Aucun de ces moyens n'a satisfait à la condition que je m'étais posée, d'obtenir l'entière destruction de la force vive dans un trajet de $0^m,20$ à $0^m,25$ seulement. Cette condition était commandée par la longueur du corps de pompe et de la tige de son piston, sous peine de perdre ou de sacrifier une partie de la course. Un dernier essai, tenté en désespoir de cause, a été fort heureusement couronné de succès, et a donné lieu à la construction suivante :

Le tirant V (*Pl. II, fig.* 5) est armé sur deux faces opposées de potences ou cruchots d'arrêt *a* ; ces cruchots sont formés de deux pièces principales : la première *b* est une platine droite sur le milieu de laquelle on a fixé normalement un bras de fer *b'*, qui la traverse dans une mortaise et est rivée par derrière. La seconde pièce *c c'* est arquée et présente vers son milieu une mortaise dans laquelle le bras *b'* est emmanché et coincé. Ces deux pièces sont réunies entre elles et au tirant par

quatre boulons à écrous qui servent en même temps à deux cruchots.

D'un autre côté, à quelque distance au-dessous, on a posé transversalement et encastré dans le rocher deux fortes estempes *e e* : sur ces pièces fondamentales (qui servent pour les deux maîtresses tiges) on a placé d'abord deux traverses *t*, puis d'équerre par-dessus deux autres pièces *g*; puis encore deux nouvelles traverses de 0m,01 d'épaisseur fixées sur les deux précédentes, au moyen de quatre boulons *dd*, dont les têtes sont en dessous et noyées dans l'épaisseur du bois. Enfin on a posé sur ces dernières semelles, de chaque côté du tirant, une pile de 7 planches de sapin (de 0m,03 d'épaisseur) qu'enfilent aussi les boulons *dd*; ces piles sont bridées entre elles par quatre bandes de fer *q* que traversent huit goujons *h*; des coins ou cales en bois *r*, qui s'appuient sur ces derniers, achèvent de maintenir les planches. Deux saumons de plomb, posés librement en *p*, couronnent le système.

Lors donc que l'attirail tombe, le cruchot rencontre, et saisit d'abord les saumons, et aussitôt les piles élastiques de sapin fléchissent et viennent joindre les pièces *t'*; la résistance ayant alors augmenté, le cruchot continue son chemin à travers les planches; il les écrase, les broie jusqu'à ce qu'enfin il s'arrête sur les débris qu'il a faits, ayant toujours au-dessous de lui le plomb qui s'est plié en forme de V sans être coupé. En résultat, toute la force vive de l'attirail échappé s'use dans ce singulier trajet; car il est bien entendu que les choses sont disposées de manière que ceux des cruchots qui se trouvent au-dessous du point de rupture fonctionnent tous au même instant.

Diverses expériences directes faites au jour ont d'ailleurs montré que l'amplitude de la retombée n'a jamais été de plus de $0^m,25$.

Il est presque inutile de dire que la chétive dépense des planches brisées, dans un accident qui peut-être ne se présentera pas une fois en dix ans, disparaît à côté des avantages attachés à ce moyen si simple, si trivial, pour ainsi dire, et pourtant si efficace de maîtriser un effort qui était de nature à compromettre le salut de tout l'appareil.

Épuration des eaux intérieures

Il me reste à parler encore d'une autre cause de détérioration qui, pour être moins violente que la précédente, n'en serait pas moins très active, si l'on n'y portait remède; c'est l'impureté des eaux, soit motrices, soit intérieures.

Ces dernières, qui sourdent sous les coups du mineur, et qui le plus souvent coulent ensuite sur le sol des galeries pour se rendre aux machines d'épuisement, charient toujours une grande quantité de fragmens pierreux, de sables ou de boues, de débris de bois, etc., qui, introduits dans les pompes, leur causent un grand dommage, et augmentent beaucoup les dépenses relatives à leur service. Il est donc essentiel, toutes les fois que la chose est possible, de faire des dispositions pour épurer les eaux avant de les admettre dans les appareils d'épuisement. C'est un soin que malheureusement on néglige trop souvent dans les mines.

Ces dispositions sont cependant en général bien simples; pour nos nouvelles machines elles consistent en :

1° Un premier bassin creusé dans le voisinage du puits, au sol de la galerie qui amène les

eaux vers la pompe. Ce bassin est divisé en trois compartimens séparés par deux cloisons, dont la première dépasse le niveau de l'eau sans aller jusqu'au fond; et la seconde est disposée d'une manière inverse. Dans les deux premiers compartimens s'arrête la plus grande partie des corps flottans (bois, paille, etc.) et les gros graviers; dans le second il ne passe que des parties plus ténues, analogues aux schlammes qui se déposent dans les labyrinthes de bocards;

2° Un second bassin déjà cité, placé dans le puits directement au-dessous du tuyau aspirateur, et formé par de forts madriers en chêne bien joints, contenus par des clefs ou cadres extérieurs. Il a dans œuvre 4 mètres de long sur 2 mètres de large, et 1^{m},50 de profondeur; on l'a divisé comme l'autre en trois compartimens inégaux, ainsi que le fait voir la *fig.* 1, *Pl. III*: la première cloison arrête le courant et le force à s'infléchir pour se rendre par le fond dans le second compartiment. Durant ce trajet, où l'eau n'a presque pas de vitesse, la plus grande partie des sables et schlammes achèvent de se déposer. Il ne reste plus qu'à se débarrasser des corps flottans d'une pesanteur spécifique peu différente de celle de l'eau : ceux-là sont arrêtés par deux cribles successifs en toile de laiton *gg'* adaptés au haut de la seconde cloison.

Les châssis de ces cribles sont en bois, et portent chacun, dans le bas, un petit tablier horizontal en retour, destiné à mieux retenir les corps flottans quand on veut retirer le châssis des rainures latérales dans lesquelles il glisse. Les cribles sont sur un double rang, afin de pouvoir les enlever et

les nettoyer à tour de rôle sans que l'ouverture, qui communique au compartiment de l'eau épurée, reste un seul instant dégarnie de son filtre. Enfin le bassin est recouvert partout de panneaux de planches bien jointes pour empêcher qu'aucun corps étranger, tombant d'en haut, ne puisse pénétrer dans son intérieur.

Flotteur à sonnettes dans le puisard.

Je dois ajouter ici qu'on a placé dans ce bassin un flotteur en liége, muni d'une tige verticale en fer qui traverse la couverture et se trouve guidée dehors par deux collets fixés sur un montant de bois. Ce flotteur, qui est destiné à faire connaître sans cesse, au moyen d'une échelle graduée et tracée sur le montant ci-dessus, l'état du niveau de l'eau dans l'intérieur du bassin, met en jeu une sonnette quand l'eau a baissé outre mesure; il donne ainsi un utile avertissement au machiniste chargé d'alimenter et de graisser la pompe. Celui-ci fait alors un signal à la machine motrice, pour qu'elle ait à ralentir sa marche et à la mettre en rapport avec les eaux affluentes; il fait un autre signal, quand au contraire la machine ne va pas assez vite. Ces communications se font au moyen d'une seconde sonnette.

Épuration des eaux motrices.

Les machines motrices demandaient, non moins impérieusement que les pompes, des eaux épurées; le canal extérieur ne charie pas, il est vrai, beaucoup de parties terreuses; mais comme il est presque entièrement situé dans une forêt, il rapporte continuellement une très grande quantité de feuilles ou d'autres débris végétaux dont il faut se débarrasser.

L'épuration des eaux motrices se fait de la même manière qu'au fond de la mine : elle commence dans un premier bassin situé au jour, à l'entrée

de la galerie-aqueduc, et elle s'achève dans le grand bassin intérieur de prise d'eau des tuyaux de chute. Celui-ci est divisé en deux compartimens inégaux (dessin n° 2, *fig.* 1), par une cloison en bois *j* qui règne sur toute sa profondeur, et qui est garnie dans le haut d'un double rang de cribles métalliques *jj'*, absolument pareils à ceux qui viennent d'être décrits. C'est contre ces cribles, qu'il faut enlever souvent, que se déposent les feuilles et autres corps flottans. Un ouvrier est préposé à cette opération, qui exige des soins continuels.

CHAPITRE IV. — *Ouvrages souterrains et maçonneries.*

Ouvrages souterrains.

L'établissement des machines qui viennent d'être décrites dans tous leurs détails, a nécessité un grand nombre de travaux accessoires ou de préparations, dont les difficultés d'exécution et les dépenses ont été assez considérables pour qu'il en soit fait ici une mention spéciale et circonstanciée.

Le puits, dit supérieur, choisi pour devenir le siége unique du nouveau mode d'épuisement, à cause de ses dimensions et de la nature solide du terrain qu'il traverse, est fort écarté du vallon qui fixe le régime des eaux de la mine. Le point de la montagne, où le canal des eaux motrices vient aboutir, est en effet séparé du puits par une distance de 370 mètres; celui où la galerie d'écoulement va déboucher en est éloigné de près de 1.000 mètres, sur lesquels il en restait 470 à percer.

D'un autre côté, quoique le puits fût généralement solide, il ne me l'a pas paru suffisamment

dans le haut pour me décider à y asseoir les colonnes de chute et à suspendre ainsi, sur les têtes des mineurs, le danger réel d'une inondation toujours menaçante. La prudence la mieux motivée a donc commandé l'éloignement de ces tuyaux, et par suite le percement d'un puits particulier, dans un terrain vierge, non encore ébranlé, pour les recevoir.

Il résulte de cet exposé, que les ouvrages souterrains principaux à exécuter pour les nouvelles machines étaient :

1° Une galerie-aqueduc supérieure, d'environ 370 mètres de longueur;

2° Une allonge de 470 mètres à la galerie d'écoulement;

3° Un puits souterrain d'environ 76 mètres de profondeur.

Chacun de ces percemens a nécessité en outre divers ouvrages accessoires dans l'intérêt de l'accélération du travail, du déblaiement, de la circulation d'air.

Galerie-aqueduc supérieure.

La galerie-aqueduc n'a pas été dirigée en ligne droite depuis le jour jusqu'au puits, parce qu'elle se serait trouvée beaucoup trop près du filon qu'elle eût longé sur toute son étendue. Il a fallu la rejeter dans le toit, assez loin pour n'avoir plus à redouter le fâcheux effet de tassemens dans les excavations inférieures, fort peu considérables et en grande partie remblayés d'ailleurs, dans cette partie du filon. D'après cela, l'axe de la galerie est une ligne brisée composée de trois parties droites, qui forment entre elles des angles très obtus, et se raccordent au moyen d'arcs de cercle d'un grand rayon.

Cet aqueduc souterrain a été attaqué par quatre

points à la fois, savoir : au jour, dans le puits principal, et au bas d'un puits d'airage et de service de 27 mètres, approfondi *ad hoc* du sommet de la montagne. Le percement s'est fait avec précision, c'est-à-dire que les quatre galeries se sont rencontrées bout à bout. Ce travail n'a, du reste, présenté aucune particularité remarquable, si ce n'est une absence complète de filtration sur presque toute la longueur de l'excavation. Ce fait, démontrant une grande perméabilité dans le terrain environnant, a eu, sur les constructions ultérieures, une grande influence, ainsi qu'on le verra plus loin.

Les roches traversées par la galerie ont été trouvées généralement dans un tel état de désagrégation, que l'observation ci-dessus s'explique facilement, en songeant surtout au voisinage du filon qui tend à soutirer toutes les eaux supérieures. Aussi l'entaillement s'est-il fait le plus souvent sans poudre; mais comme on n'a pas donné primitivement à cette galerie de grandes dimensions (1^{m},80 sur 0^{m},90), ses parois se sont assez bien maintenues sans boisage, sauf auprès de l'orifice qu'il a fallu étançonner. Plus tard cependant, après un contact de près de trois années avec l'air atmosphérique, ces mêmes parois sont devenues plus ébouleuses, et on a pu se convaincre dès lors de la nécessité de les revêtir d'un muraillement complet.

Galerie d'écoulement prolongée.

Le prolongement de la galerie d'écoulement, vers le puits supérieur, a été rejeté comme l'aqueduc, et par les mêmes motifs, au toit du filon; sa projection horizontale est également une ligne composée de trois élémens droits.

Les 470 mètres à percer ont été attaqués par six

points, savoir : 1° par les deux extrémités, l'une au puits supérieur, l'autre auprès du puits, dit inférieur, où la galerie avait été arrêtée ; 2° par les extrémités de deux traverses qu'il a fallu diriger tout exprès du filon vers l'axe de la galerie projetée qui lui est à peu près parallèle. Ces traverses comprennent ensemble une longueur de 60 mètres, et ont servi tant à l'airage et à l'épuisement des eaux qu'à l'enlèvement des déblais qui ont pu être conduits dans les excavations avoisinantes du filon. Ce percement complexe, ordonné selon les règles ordinaires de la géométrie souterraine, s'est fait encore ici avec un succès remarquable.

Les roches schisteuses, porphyriques et arénacées, qui, dans l'aqueduc supérieur, s'étaient montrées fort tendres en général, ont opposé ici au travail du mineur une dureté considérable. Cette circonstance a sans doute augmenté les dépenses d'entaillement; mais elle a été accompagnée de l'immense avantage de nous donner un aqueduc tout à la fois solide et imperméable, n'exigeant par conséquent aucune maçonnerie, aucun moyen de soutènement. Le terrain ne s'est montré un peu ébouleux qu'aux approches du puits supérieur; là, seulement, il a fallu faire quelques dispositions de sûreté sous les deux rapports ci-dessus.

Le puits de chute a été entamé aussi par plusieurs points qu'on a choisis, de manière à rendre l'enlèvement des déblais le moins coûteux possible. Des communications spéciales ont été pratiquées à cet effet avec le puits principal (dans le massif de $9^m,20$ qui les sépare), à des niveaux où celui-ci était lui-même en relation avec le filon. Puits de chute.

Le puits de chute a traversé d'abord un schiste

ébouleux sur une hauteur de 24 mètres; il est entré ensuite dans un énorme banc de poudingue très solide, qu'il n'a quitté que vers son extrémité inférieure, où il a atteint un nouveau schiste aussi fort ébouleux.

Il a été ouvert primitivement, sur la forme d'un carré ayant environ 1^{m},30 de côté; plus tard on l'a agrandi. Dans la partie schisteuse supérieure il a reçu la forme d'un rectangle de 3^{m},60 sur 3^{m},55; dimensions qui ont été réduites ultérieurement, par un boisage et un muraillement, à 2^{m},25 sur 2^{m},05; plus bas, dans le poudingue, il a été taillé proprement sur les quatre côtés, suivant des portions de surfaces cylindriques, dont les cordes horizontales forment un rectangle de 2^{m},25 sur 2^{m},05, c'est-à-dire égal à celui de la maçonnerie ci-dessus : les flèches sont respectivement de 0^{m},14 et 0^{m},13. Au-dessous de la galerie d'écoulement, dans toute la partie correspondant aux colonnes des balanciers, ce rectangle a été alongé d'un mètre dans le sens de ladite galerie; l'autre dimension de 2^{m},05 restant la même.

C'est ici le lieu de mentionner aussi la galerie de communication établie entre les deux puits, à la hauteur du pont de support des machines. Ce percement est tout entier dans le poudingue, et a moyennement 3,30 de hauteur sur 2,50 de largeur. J'ajouterai encore que la même roche a dû être excavée, dans la chambre de la machine, sur de très grandes dimensions dans tous les sens.

Travaux complétant le régime nouveau d'épuisement.

Pour compléter l'énumération de tous les travaux souterrains qui se rapportent au nouveau système d'épuisement, il convient d'indiquer aussi ceux qui s'exécutent dans ce moment au fond de la mine pour l'installation future des pompes à

leur limite de 230 mètres de profondeur. Ils consistent : 1° dans l'approfondissement du puits principal, sur une hauteur de 60 mètres ; 2° dans le percement d'une galerie de 200 mètres de longueur, pour mettre en communication le fond de ce puits avec les derniers massifs de minerai. Plusieurs années seront nécessaires encore pour achever ce travail.

Voici, pour terminer, les prix de revient par mètre courant de quelques-uns des ouvrages de mine ci-dessus :

	fr. c.
La galerie-aqueduc	18,00
Le puits d'airage, qui est de forme hexagonale, et présente une section horizontale de 3m.q. ; percé d'ailleurs dans une roche porphyrique assez dure.	69,00
La galerie d'écoulement, $\frac{3}{4}$ de schiste dur, $\frac{1}{4}$ de porphyre, 2 mètres de haut sur 1 mètre de large . .	38,20
Les traverses qui ont servi au percement de cette dernière galerie, $\frac{3}{4}$ porphyre, $\frac{1}{4}$ schiste	42,00
Le puits de chute ayant primitivement 1,70 m. q. de section.	39,00

Maçonneries.

Les divers modes de construction des ouvrages de maçonnerie exécutés dans la galerie d'admission ont été déterminés par la nature perméable et peu consistante du terrain qu'elle traverse. Il importait en effet de combattre les inconvéniens plus ou moins graves qui en eussent été la conséquence, savoir : les filtrations, les éboulemens et la chute des menus débris.

Muraillement de la galerie-aqueduc supérieure.

Cette galerie a d'abord été exhaussée et élargie régulièrement pour l'emplacement des travaux projetés. Cet élargissement a nécessité, sur presque toute la longueur du terrain ébouleux, un boisage qui même a dû être abandonné ensuite, derrière

les muraillemens, sur 80 mètres de longueur. Le terrain solide a été taillé grossièrement, mais uniformément, de manière à présenter sur les côtés des parois verticales, et dans la partie supérieure un berceau cylindrique. Le sol, ou fond de la galerie, a d'ailleurs été nivelé avec soin sur toute sa longueur, pour recevoir ensuite une pente régulière.

Pour empêcher les filtrations, on a dû contenir les eaux motrices dans un lit parfaitement imperméable ; ce lit ou aqueduc occupe toute l'étendue de la galerie. Il est large de 1 mèt. depuis son entrée jusqu'au premier changement de direction ; passé ce point, cette dimension n'est plus que de $0^{m},75$. On a construit, à ses extrémités, deux réservoirs ou bassins d'épuration : l'un a son entrée et au jour, l'autre B_1 (*Pl. II*, *fig.* 1), à l'extrémité d'aval, où se fait la prise d'eau, et où plongent les tuyaux de chute. Ces deux bassins ont, dans œuvre, $6^{m},25$ de long sur 2 mètres de large. Le premier a seulement 1 mètre de profondeur, et le second 3 mètres.

L'aqueduc est construit de la manière suivante : le sol de la galerie a été recouvert d'une couche de béton (*fig.* 12), épaisse de 20 centimètres, sur laquelle on a logé en même temps des dalles de schiste quartzeux, épaisses d'environ 5 centimèt., dont le parement vu affleure l'aire de béton, et affecte une pente de $2\frac{1}{2}$ millimètres par mètre qui était donnée par des repères invariables ménagés à de petites distances et minutieusement vérifiés. Ces dalles forment le fond de l'aqueduc, et s'engagent de $0^{m},08$ sous ses parois verticales.

Sur ce radier général on a élevé deux murétains formés de deux assises chacune de 20 centimètres de hauteur, en moellons granitiques piqués ; les

moellons sont taillés d'équerre dans les lits et joints sans démaigrissement, sur toute leur épaisseur qui est de 30 centimètres. Cette préparation des pierres a permis d'atteindre une juxtà-position presque parfaite, et leurs petites dimensions en ont rendu la pose très facile. L'emploi de tels moellons, taillés sur toutes les faces, en contact et facilement maniables, rend impossible toute solution de continuité dans le mortier, et annulle par conséquent toute chance de filtration, en admettant toutefois que le mortier soit hydraulique : on a effectivement acquis la certitude qu'il ne s'est pas fait une seule voie d'eau vers les galeries inférieures.

Le bassin intérieur est construit comme l'aqueduc; on a eu soin d'éviter les joints dans les angles et pour cela on a fait usage de moellons particuliers, dans lesquels on a refouillé soit des angles droits rentrans, pour les quatre coins du bassin; soit des portions de rainures pour les coulisses servant à recevoir les cloisons transversales; son dallage est à 3 mètres en contre-bas de celui de l'aqueduc, et cette différence de niveau est rachetée par un mur vertical. Toutes ses parois sont en moellons piqués de $0^m,50$ de queue, et le dallage repose sur un béton épais de $0^m,30$. Le bassin extérieur n'est pas construit avec autant de soin que le précédent; on n'y a fait usage que de moellons essemillés sauf quatre chaînes en pierres de taille pour les coulisses des cloisons qui le divisent en trois compartimens.

La destination de l'aqueduc et le mode de construction que nous venons d'indiquer, ont impérieusement exigé l'emploi d'un bon mortier hydraulique. Aussi, le choix des matières qui devaient le composer a-t-il été pour moi l'objet d'une attention particulière.

J'avais songé d'abord à fabriquer de la chaux hydraulique artificielle à double cuisson, lorsque M. Avril me fit part de ses recherches sur les mortiers. Elles l'avaient conduit à la découverte d'une roche en décomposition, encaissée dans un terrain de *grauwacke*; circonstance qui lui a fait donner improprement ce nom, qu'on lui a conservé depuis dans les travaux des ponts et chaussées. Cette roche est d'un rouge jaunâtre, parsemée de paillettes de mica, et se rapproche très certainement, par sa nature et les circonstances de son gisement, des masses amphiboliques qui ont surgi au milieu du terrain de transition aux diverses époques de sa dislocation.

Des expériences faites avec une méthode et un soin remarquables, par M. Avril, ont établi l'excellence de cette matière comme pouzzolane artificielle, lorsqu'elle a été préalablement cuite dans un four, et l'ont conduit à la proposer pour la construction du canal de Nantes à Brest, où elle a été employée avec un très grand succès.

Convaincu des qualités hydrauliques des *grauwackes* cuites, je m'étais décidé à les envoyer chercher fort loin, lorsque M. Garran (1), alors sous-directeur de l'établissement, eut l'idée d'essayer une roche porphyrique à base de feldspath en décomposition, quoiqu'elle n'eût à la vue aucun rapport avec la grauwacke, puisqu'elle est d'une

(1) M. Garran et son collègue M. Nailly, alors sous-directeurs, avaient été chargés de la conduite de ces divers travaux de maçonnerie; ils se sont acquittés de cette difficile mission avec beaucoup de succès, et je me plais à rendre ici un témoignage public de l'utile secours que j'ai trouvé dans leur talent.

blancheur remarquable; elle avait été reconnue par la galerie d'admission et remontait jusqu'au jour. L'essai réussit parfaitement, et nous avons obtenu, par la cuisson de cette matière, dans un four de forme pyramidale, ouvert à sa partie supérieure, une pouzzolane au moins aussi énergique que la *grauwacke* cuite employée sur le canal.

Avec trois parties de cette roche feldspathique cuite et pulvérisée, et une partie de chaux grasse mesurée en pâte, on a produit un *ciment* qui, plongé dans l'eau, fait prise en peu de temps. Néanmoins, ces proportions n'ont pas été constantes; elles ont varié suivant que la chaux était plus ou moins grasse; mais le mélange a toujours présenté la circonstance d'une dureté croissante qu'on remarque également dans les autres maçonneries souterraines toujours exposées à l'humidité, et dont il va être question.

Après avoir assuré l'imperméabilité de la galerie dans sa partie inférieure en contact avec l'eau motrice, on a dû s'occuper d'en murailler les deux côtés et le plafond, partout du moins où le terrain pouvait s'écrouler ou simplement se détacher par fragmens; une longueur totale de 210 mètres se trouvait dans ce cas.

A cet effet, on a élevé au-dessus et à l'aplomb des muretains en moellons piqués, sur une hauteur de 1^{m},40, les murs latéraux de la galerie, qui servent en même temps de pieds-droits à une voûte en plein cintre, dont l'ouverture est la même que celle de l'aqueduc, et dont l'épaisseur à la clef est 0^{m},30. La maçonnerie des pieds-droits est faite en moellons granitiques extraits d'une carrière où la roche a une structure schistoïde, puis essemillés

grossièrement; elle a 0m,40 de profondeur, et se trouve réunie au rocher par un blocage ou béton avec recoupes, ayant 0m,10 d'épaisseur moyenne. Les claveaux sont faits avec le même granite, mais essemillés avec plus de soin; et la voûte, dont la douelle est piquée, se relie au terrain supérieur par une maçonnerie en petits matériaux de 0m,20 d'épaisseur, et bien tassée.

Cette voûte a été construite au moyen d'un cintre volant, espèce de dais monté sur quatre pieds, long de 1 mètre, qu'on établissait au moyen de cales, de manière à conserver l'axe du berceau parallèle au sol.

A l'origine de la galerie, la voûte est construite sur 4m,60 en pierre de taille; son entrée (*fig.* 14) présente une arcade surmontée d'un fronton.

On a construit en outre, au-dessus du bassin intérieur et de la cheminée de chute, une voûte en anse de panier, longue de 18m,80; son sommet à l'intrados est au même niveau que celui du berceau de la galerie, dont la tête d'aval se raccorde avec celle d'amont de l'anse de panier, par un plan vertical qui les contient toutes deux.

Dans la partie où le terrain est très solide, existe, sur 12m,60, un poudingue dont la pâte est susceptible de s'altérer un peu à l'air; on l'a ravivée et dressée, puis recouverte d'un enduit de 0m,02 d'épaisseur moyenne. Cet enduit, fait avec le ciment feldspathique, forme une paroi mince d'une seule pièce très dure et très unie.

Au-dessus des muretains en moellons piqués, on a logé dans la maçonnerie, sur toute la longueur de l'aqueduc, des poutrelles de 10 centimètres d'équarrissage, espacées de mètre en mètre, pour recevoir un plancher ou trottoir qui se prolonge

au-dessus du bassin intérieur et s'étend jusqu'à la cheminée de chute.

Les matériaux des maçonneries sont entrés, soit par la galerie, soit par le puits d'airage ou le puits principal, au moyen de tonnes descendues par un treuil à frein. On les a ensuite transportés à pied-d'œuvre au moyen de brouettes et de chiens de mine.

Muraillement de la galerie d'écoulement.

La galerie d'écoulement se trouve dans une région où le roc, d'une contexture beaucoup plus serrée que dans la galerie supérieure, ne pouvait donner lieu à des filtrations, excepté en amont, près de la cheminée de chute; où l'on a établi un radier et un aqueduc, comme dans la galerie d'admission. Là où l'on avait à craindre des éboulemens de nature à intercepter le passage des eaux, ou dangereux pour les travaux adjacens, on a muraillé et voûté la galerie; ailleurs, où ces accidens ne pouvaient être considérables, on s'est contenté d'un simple boisage. La partie maçonnée est longue de 140 mètres, dont 108 en aval du puits inférieur, et 32 à la sortie au jour, où la tête du berceau présente la même élévation que celle de la galerie d'admission. La largeur de la galerie d'écoulement, dans la partie maçonnée, est $0^m,75$; et dans la partie boisée ou entaillée dans le roc, 1 mètre.

Maçonnerie dans le puits de chute.

Le puits de chute, ouvert avec les dimensions de $1^m,30$ en carré, a été élargi pour recevoir les revêtemens, suivant un rectangle de $3^m,60$ sur $3^m,65$; au fur et à mesure du déblai, on a soutenu le terrain par un boisage qui plus tard a été laissé derrière les maçonneries. Sur les deux plus grands côtés du puits, les revêtemens qui ont $2^m,25$ de large chacun, sont plans et forment le prolonge-

ment des pieds-droits de l'anse de panier qui couronne la cheminée et le bassin. Les deux autres revêtemens nord et sud sont cylindriques, et sont maçonnés en moellons essemillés, façonnés en voussoirs. L'arc qui en représente la section, a $2^m,05$ de corde sur $0^m,13$ de flèche. Les revêtemens plans, construits aussi en moellons essemillés, sont consolidés chacun par six chaînés horizontales en pierre de taille, appareillées en platebande; aujourd'hui que le ciment a acquis une dureté notable, et s'entame avec autant de difficulté que la pierre elle-même, ce revêtement plan forme une seule masse, dont toutes les parties sont solidaires.

Ces murs reposent sur quatre voûtes en arc de cercle, situées deux à deux à des hauteurs différentes, et qui elles-mêmes s'appuient et reportent la poussée aux angles des puits sur le poudingue dressé pour recevoir les sommiers qui y sont encastrés avec soin. Dans chaque voûte, la tête extérieure est le prolongement de la surface plane ou cylindrique du revêtement qu'elle soutient.

Le côté nord de la partie inférieure au-dessous de la galerie d'écoulement, et les parties schisteuses des côtés adjacents, sont également revêtus en moellons essemillés et consolidés par des chaînes ou voûtes horizontales en pierre de taille. Une autre maçonnerie en pierre de taille, descend en contrebas du sol de la galerie de communication, et forme le bassin ou fontaine N', dont le fond a la forme d'une voûte cylindrique renversée, ayant son axe parallèle aux grands côtés du puits.

Sur ces côtés, la ligne inclinée de séparation du poudingue et du schiste est remplacée par des redans; le poudingue est refouillé aux lignes verti-

cales de ces redans, suivant un plan convergent vers le centre de la paroi cylindrique, et servant d'appui ou de culée au revêtement de cette paroi. La voûte renversée, qui termine inférieurement le puits de chute, est appareillée en pierre de taille, et s'oppose évidemment à tout mouvement du terrain inférieur; elle est placée sur une couche de béton de 30 centimètres.

Toute la partie du puits pratiquée dans le poudingue, entaillé comme nous l'avons dit suivant des surfaces cylindriques, est recouverte d'un enduit en ciment qui, comme dans la galerie d'admission, ne présente ni fendillement ni gerçures et s'oppose à la décomposition de la roche.

Une galerie M, qui traverse aussi le poudingue établit la communication entre le fond du puits de chute et la chambre de la machine. Près de celle-ci on a trouvé à propos de la recouvrir d'une voûte sur 4 mètres environ; mais le reste du faîte et les pieds-droits sur toute leur longueur, qui est $8^m,80$, sont simplement enduits de ciment.

Maçonnerie des culées du pont et de la chambre des machines.

La chambre à laquelle conduit cette galerie est située dans le puits principal, au milieu du banc de poudingue. L'exécution des maçonneries, au-dessous de cette chambre destinée à contenir les machines jumelles, était aussi importante que délicate; la moindre faute pouvait avoir des conséquences graves, et peut-être irréparables. Pour former sous ces machines une base inébranlable, il fallait exécuter un travail qui, par lui-même, présentait quelques difficultés; mais celles-ci étaient considérablement augmentées par l'espace resserré où il fallait agir. Outre les obstacles qui contrariaient la pose, on peut encore citer l'approche des matériaux qui, pendant tout le temps de leur des-

cente d'une hauteur de 100 mètres, exécutée au moyen du treuil à frein, forçaient les ouvriers à se mettre à l'abri, à rester inactifs, et à laisser un travail d'art en chômage répété, et par cela même nuisible. Ces inconvéniens réels ont existé pour la construction de la plupart de nos maçonneries, quoiqu'à des degrés différens et inférieurs à ceux que je signale à propos de la chambre de la machine.

Les maçonneries du puits principal comprennent celles exécutées dans l'intérieur de la chambre, celles supérieures qui la raccordent avec le haut du puits, et celles inférieures.

Dans ces dernières on remarque d'abord sur les deux grands côtés les voûtes α (*fig.* 1 *et* 3), qui supportent les culées α_1 sur lesquelles s'appuie le pont en fonte; les coussinets α_2 et les assises intermédiaires qui transmettent aux voûtes la pression exercée par le pont. Ces maçonneries ont pour épaisseur la profondeur de la voûte (1 mètre); au-dessus de l'extrados elles se relient par des pierres d'angle aux petits côtés, et en arrière elles adhèrent au rocher, dressé à la pointe, au moyen de ciment hydraulique. La tête de la voûte, le parement vu de l'appareil supérieur et 0^{m},25 des pierres de coussinets, sont dans un même plan vertical; le reste du parement vu des coussinets est à 45°, et se retourne horizontalement jusqu'aux parois de la chambre.

Les pierres de coussinet font toutes parpaing; celles des assises au-dessous sont appareillées de la même manière, et chacun des 17 voussoirs qui forment l'arc occupe toute la profondeur de la voûte, et cube moyennement 0$^{m.c.}$,50. La corde de

la voûte est $5^m,90$, la flèche $0^m,88$, et l'épaisseur à la clef 1 mètre.

Avant de procéder à la pose des voussoirs de ces voûtes, il a été nécessaire de s'occuper de la préparation de leurs culées. A cet effet on a refouillé le roc, de manière à faciliter l'approche des ouvriers et plus tard la pose des premiers voussoirs; on a placé ensuite, de chaque côté des naissances, deux directrices parallèles contenues dans un même plan horizontal, qui, avec le niveau de pente, ont permis de dresser très exactement le roc suivant un plan passant par l'axe du berceau; ce plan, quoique piqué avec beaucoup de soin, renfermait encore, en raison de la nature de la roche, des inégalités qu'on a fait disparaître par une légère couche de ciment: enfin l'on a solidement établi pour chaque voûte un cintre composé de deux fermes pleines de $0^m,16$ d'épaisseur, réunies par des douvelles transversales formant une surface cylindrique continue égale à l'intrados de la voûte. Ces cintres étaient supportés par des chantiers de bois transversaux placés eux-mêmes sur le roc, qui avait été préalablement dressé suivant le plan horizontal des naissances. La pose des voussoirs sur cette charpente s'est ensuite faite *à sec*, c'est-à-dire qu'on les a placés les uns sur les autres, symétriquement des deux côtés des naissances, sans interposition préalable de mortier. L'épaisseur des joints a été maintenue par quatre cales en fer placées aux angles du voussoir, dont on dégauchissait le plan de joint supérieur au moyen de trois de ces cales; la quatrième était ensuite enfoncée à la demande des trois autres. De cette manière, chaque plan de joint supérieur était bien dressé, et l'épaisseur du joint sensiblement uniforme. L'intercalation de

la *clef* a terminé cette première partie de l'opération.

Par un orifice élargi, ménagé sur le haut de chaque joint, on a ensuite injecté du ciment au moyen d'une pompe de 0^m,12 de diamètre ; pour renfermer et contenir le ciment injecté de la sorte, on avait eu soin d'appliquer préalablement sur le pourtour de chaque plan de joint une bande de ciment romain.

La matière injectée était un mélange de ciment romain, de sable fin et d'un peu de chaux maigre vive pulvérisée. L'état un peu liquide dans lequel on était obligé de maintenir ce mélange pendant l'opération, nécessitait un excès d'eau que s'assimilaient ensuite la chaux vive et le ciment romain au moment de la prise. Il n'y a eu en effet aucun retrait (seul inconvénient à craindre dans ce mode de construction) ; car lorsqu'on a enlevé les cintres et livré la voûte à elle-même, il n'a pas été possible d'y apercevoir le moindre tassement, le moindre travail aux reins.

Les voussoirs des petits arcs β, dont l'extrados correspond au niveau des naissances des grands arcs, et qui reposent sur les grands côtés du puits, ont été posés avec beaucoup de soin, mais simplement suivant le procédé généralement usité pour ces sortes de constructions. Ils sont également surmontés d'assises en pierre de taille posées par carreaux et boutisses qui revêtissent les côtés nord et sud du puits, larges de 2^m,45, savoir : le côté sud jusqu'au sol de la chambre et le côté nord jusqu'à un pont de service situé au-dessous du pont en fonte : là cette maçonnerie se continue sous la forme de l'escalier ξ jusqu'au plancher dans la galerie de communication.

La chambre un peu en retraite sur la cage inférieure, dont nous venons de parler, est renfermée latéralement entre quatre parois latérales cylindriques, dont la hauteur est $7^m,25$, et dont la section horizontale présente quatre arcs de cercle presque égaux entre eux ; leur corde est de $4^m,50$, leur flèche de $0^m,30$. Ces parois sont en pierres de taille appareillées en voûtes horizontales, dont les extrados sont réunies au poudingue par une maçonnerie de blocage de $0^m,15$ d'épaisseur moyenne. Elles se raccordent avec la partie supérieure du puits par quatre voûtes en arc de cercle, deux grandes χ s'appuyant sur le rocher et ayant 1,60 de profondeur à l'axe, et deux petites ψ de 0,60 de profondeur et appuyées sur les premières. L'ouverture de celles-ci est constante et égale à la distance entre les têtes verticales des grandes voûtes, tandis que ces dernières ont une ouverture variable, comme la largeur entre les côtés correspondans de la chambre sur lesquels elles s'appuient. Aux naissances elles coupent les parois cylindriques verticales suivant $\chi' \chi''$, et pénètrent les deux autres côtés suivant des courbes dont la demi-intersection se projette en $\chi' \chi'$. Les arceaux ont leur naissance droite sur les têtes des voûtes, et pénètrent les côtés cylindriques de la chambre selon les demi-courbes projetées en $\psi' \psi'$; leur flèche est $0^m,55$ et leur épaisseur à la clef $0^m,66$; pour les grandes voûtes ces dimensions sont $0^m,90$ et 0,80. L'extrados des quatre voûtes se relie au rocher par une maçonnerie en petits matériaux.

Les grandes voûtes ont été posées à sec sur cales en fer, rejointoyées et injectées comme celles inférieures ; les arceaux ont été posés suivant la méthode ordinaire.

Les quatre voûtes portent au-dessus un bandeau rectangulaire en pierre de taille de $0^m,60$ de queue, de $0^m,40$ de hauteur, et dans laquelle on a refouillé une rigole destinée à recevoir l'eau qui descend le long du boisage, et qui, de cette rigole, se rend par un tuyau de plomb dans la fontaine du puits de chute.

Indépendamment de ces deux ouvertures inférieure et supérieure, la chambre est percée par la galerie de communication M_1, dont nous avons déjà parlé, et par une autre galerie Q_1 (*fig.* 1), qui est une traverse vers le filon; enfin elle présente deux niches destinées à loger les estempes φ. Nous ne parlerons ni de l'appareil ni de la pose des pierres qui forment ces ouvertures, puisqu'elles n'offrent rien de particulier.

Nature de la pierre employée. Les blocs de granite qui ont fourni la pierre de taille de grand et de petit appareil ont une contexture toute différente de celle des bancs d'où l'on a extrait les moellons tant ordinaires qu'essemillés. La pierre de taille est d'un grain assez gros, mais fort serré; elle est homogène, très dure et très résistante. Ces qualités se font surtout remarquer à un degré éminent dans les maçonneries situées au-dessous du pont.

Je compléterai ce qui est relatif aux maçonneries, en donnant le détail suivant du prix de quelques-unes d'entre elles.

PRIX.

	f. c.
Le mètre cube de chaux grasse éteinte en pâte	36,17
Le mètre cube de porphyre cuit, moulu et tamisé	9,70
Le mètre cube de ciment composé de trois parties de porphyre cuit et d'une partie de chaux éteinte en pâte	23,75
Le transport du mètre cube du moellon brut des carrières à la mine	2,00
Le transport du mètre cube de granite taillé	6,00
Le mètre cube de béton dans lequel les recoupes ont été utilisées, avec 0,60 de ciment	16,85
Le mètre cube de maçonnerie de petits matériaux avec 0m,35 de ciment	15,10
Le mètre cube de moellon essemillé, posé avec 0m,35 de ciment, l'essemillage des paremens et joints compris	17,60
Le mètre cube de claveaux en moellons essemillés pour voûte contenant moyennement 2 mètres superficiels de douelle piquée et environ 7 m. sup. de joints essemillés	26,6
Le mètre superficiel d'enduit de 0m,02 d'épaisseur	0,86
Le mètre cube de granite d'un grain serré, de petit ou de grand échantillon pour pierre de taille ou moellon piqué, taillé dans les lits et joints, posé et mis en œuvre, prix moyen	24,44
Le mètre superficiel de parement vu, uni de granit piqué ou taillé	7,00
Le même pour parement de sujétion ou courbe	8,80
Le même, pour pierre de fort appareil, soigneusement taillée dans les lits et dans les joints	16,64

Ces prix doivent être augmentés du transport intérieur :

Dans la galerie d'admission, le transport du mètre cube à pied d'œuvre est :	
Par l'entrée	0,80
Par le puits d'airage	2,92
Pour le puits de chute, les galeries d'écoulement et de communication et pour la chambre de la machine, le transport du mètre cube coûte	3,82
Pour les maçonneries au-dessous de la chambre, le transport du mètre cube coûte moyennement	4,97

Détail du prix d'un voussoir cubant moyennement 0m.c.,50, *présentant une surface plane de joints et tête soigneusement taillée de* 2m.sup.,95 *et une surface à la douelle de* 0m.sup.,37.

	f. c.
Prix du voussoir taillé, rendu sur la mine.	27,30
Transport intérieur.	2,81
Pose sur cales à sec	4,08
0m.c.,14 de ciment, transport compris, tant pour le derrière de la voûte que pour les joints.	3,68
Ciment romain, chaux vive et main-d'œuvre d'injection.	3,67
Ragréement après la pose.	0,50
Chandelles.	1,09
Prix du voussoir.	43,13

Le muraillement des galeries figurées *Pl. IV*, coûte par mètre courant, savoir :

La galerie *fig.* 13.	67,95
id. *fig.* 12.	69,58
id. *fig.* 11 (pieds-droits de 4m,63).	146,85

Ces divers prix ne comprennent pas les faux frais, outils, entretien ou façon des engins, etc.

APPENDICE.

D'après le cadre que je m'étais primitivement tracé, ce mémoire ne devait comprendre que la simple description de la machine à colonne d'eau, et des travaux qu'a nécessités l'établissement du nouveau système d'épuisement tout entier : ma tâche était donc, à la rigueur, terminée ici. Mais depuis j'ai pensé que les ingénieurs appelés à construire des machines hydrauliques, ne liraient pas sans intérêt quelques détails économiques, plus circonstanciés que ceux qui précèdent, sur l'appareil d'Huelgoat, ainsi que des considérations sommaires sur les applications dont les machines à colonne d'eau sont ou peuvent devenir susceptibles dans l'exploitation des mines, et partout où il s'agit d'utiliser une chute d'eau comme force motrice.

Je ne rapporterai pas ici les devis détaillés, tels que je les ai présentés aux fabricans; ce serait à la fois trop long et tout-à-fait inutile. J'ai dit plus haut, à cet égard, que chacune des pièces dont les machines se composent était devenue l'objet d'une description et d'un dessin, à la suite d'une étude qui avait principalement servi à en déterminer les formes et les dimensions. Or, on conçoit qu'un exposé de ces sortes d'études qui ne sont pas assujetties à des règles générales, mais qui varient avec les conditions particulières à chaque question d'épuisement, ne sauraient intéresser que très médiocrement les constructeurs

qui auront toujours à tirer de leur propre fonds les solutions des difficultés qui leur sont opposées. Ils doivent préférer des résultats, des faits, des points de repère; et c'est ce que mon expérience vient leur offrir.

Le calcul des dimensions des pièces sous le rapport de leur résistance, qui paraît rentrer plus particulièrement dans le domaine de la science, est cependant assez souvent soumis à des considérations qu'il n'est guère possible de traduire en formules. Il faut avoir égard, tantôt aux causes d'altération et de destruction auxquelles les matériaux de construction sont exposés, tantôt à des variations accidentelles dans les efforts que diverses parties des machines ont à supporter. Quelquefois il faut songer à préserver certaines pièces d'une déformation préjudiciable, qui peut survenir, soit au moment de leur exécution, soit pendant leurs fonctions. C'est ainsi que l'épaisseur du métal du grand cylindre Y a été portée à près de $0^m,06$, c'est-à-dire bien au delà de ce qu'indiquait le calcul, parce que la machine à aléser de l'usine de Charenton avait le défaut d'ovaliser les cylindres à grand diamètre, qui n'avaient pas une épaisseur de paroi convenable. Cette pièce, dans la machine d'Huelgoat, est parfaitement circulaire, aussi la garniture du piston s'y est-elle conservée tout-à-fait imperméable depuis près de quatre ans.

Ces sortes de calculs reposent en général sur les résultats d'expériences qui doivent toujours précéder l'exécution d'un grand travail mécanique, lorsque d'ailleurs des épreuves authentiques n'ont pas fait connaître à l'avance la résistance des matériaux que l'on se propose d'employer.

La majeure partie des fers de la machine d'Huelgoat ayant été tirée de Fourchambault (département de la Nièvre), nous n'avons pas eu à nous occuper de ces épreuves qui avaient été faites avec le plus grand soin à Guérigny, et dont les principaux résultats ont été publiés par M. E. Martin. (Voyez *Annales des mines*, 3e série, tome V, 1re livr.) La résistance absolue des fers corroyés, dits *à câble*, en est ressortie à 3.300 kilogr. par centimètre carré. Toutefois, ce n'est pas sur cette limite extrême que j'ai compté; je me suis arrêté à des charges qui ont varié de 400 à 600 kilogr. par cent. carré (selon la grosseur d'échantillon et les fonctions de chaque pièce), et pour lesquelles il y avait certitude que le ressort de la matière ne serait pas altéré.

Quant à *la fonte*, le fournisseur, M. E. Martin, a présenté une série d'expériences faites à l'occasion d'un concours pour la reconstruction de la flèche de la cathédrale de Rouen, et dont j'ai accepté les principaux résultats, savoir :

1° Une barre de $0^m,027$ de côté, tirée dans le sens de sa longueur, n'a rompu que sous une charge de 10.588 kil., c'est-à-dire de 1.450 kil. par centimètre carré.

2° Des barres de même dimension, placées horizontalement et à plat sur deux points d'appui écartés l'un de l'autre de $0^m,90$, puis chargés au milieu, se sont rompus sous un poids moyen de 472 kil.; avec 300 kil. seulement, les barres ont fléchi de $0^m,007$.

Les fers et fontes de première qualité, fournis par l'usine anglaise de Charenton, quoique meilleurs encore que les précédens, ont été admis sur le même pied.

Quant au cuivre (bronze), j'ai adopté la résistance employée par M. de Reichenbach pour ses machines de Bavière, savoir : 2.500 kilogr. par centimètre carré.

Toutes ces données ont été confirmées par l'épreuve définitive qu'ont subie toutes les parties de la machine, au moyen de la presse hydraulique. Dans plusieurs expériences, et notamment pour l'essai des attirails, c'est le cylindre moteur lui-même (muni de son piston), qui a servi au développement de la puissance, au moyen d'une petite pompe d'injection adaptée à sa tubulure inférieure.

Au lieu du devis détaillé, dont il a été question plus haut, je vais présenter ci-après, en quatre tableaux, l'énumération des principales parties de l'appareil d'épuisement, avec l'indication des poids des matériaux qui les composent, et l'évaluation des dépenses qu'elles ont occasionées. Un cinquième tableau, relatif aux ouvrages de mine et de maçonnerie, complétera ce document, qui, à mon avis, doit intéresser les praticiens.

Ier TABLEAU.

I. MACHINE MOTRICE.	FONTE.	FER.	CUIVRE.
	kil.	kil.	kil.
1° Le cylindre Y avec sa base et sa boîte à cuir	5600 1093	»	(1) 16
La cuvette Z et la cage en fer *y*, *y*. . .	»	186	41
2° Le piston P avec sa rondelle de pression P′.	»	»	800
La pièce conique en fonte, qui coiffe la tête de la tige; la vis P et le sabot *f* en fer.	19	12	
3° La tige du piston X (diamètre 0,13), la deuxième tige X′, le manchon à clavettes qui les réunit.	»	1313	»
4° La tige à cames *d d′*, le guide *g*... g^3, le sabot *h*.	»	122	(2) 2
5° Le cylindre du régulateur H H′ avec sa boîte à cuir supérieure.	1802	»	(3) 119
La potence U	105 33	36	(4) 54
Son plateau de base, avec le godet I . . .	69	»	10
6° Les pistons régulateurs R, J et le manchon K (5).	»	(6) 18	372
La tige des pistons et la béquille inférieure .	»	65	»
7° Le petit appareil régulateur, comprenant le cylindre *e*, *i* (7), les pièces à robinet $a\,a_1$. $e\,e_1$; $e_1\,a_2$; e_4 et les tubes $e_1\,e_2\,e_3$; a_3 (3)	30	»	165
8° Le mécanisme du petit régulateur, comprenant les pièces *p p* (9); *i*; *t v′*; *t′*; *s s*; *v*, *v″*; *s′ v″*; *z*.	»	57	(9) 2
9° Les tuyaux O, S avec les boîtes à cuir W W′, les valves V V′ (en fer) et leur mécanisme *y*, *y′*.	1036	52	88 (10) 6
10° Boulons de toutes grandeurs	»	177	»
Totaux.	9787	2038	1675
Le double pour les deux machines .	19574	4076	3350

Les deux machines, pesant ensemble 27000 kilog., ont coûté 67.390 fr.

Annotations relatives au Ier tableau.

(1) La boîte à cuir, son convercle, le trou central du plateau sont revêtus de chemises et viroles en cuivre.

(2) Les colliers du guide sont garnis en cuivre.

(3) (4) Le cylindre H′ du piston d'aide est revêtu intérieurement d'une chemise en cuivre; il en est de même de la boîte à cuir.

(5) Les diamètres des pistons régulateurs R, J, K n'ont pas été indiqués dans le cours de la description de la machine. Ils sont respectivement de 0m,369, 0m,404, 0m,322.

(6) Le piston cannelé qui est en bronze, porte une forte traverse en fer, à son extrémité inférieure.

(7) Le petit cylindre *e i* a 0m,05 de diamètre intérieur.

(8) Le tube a^3 est seul en fonte de fer.

(9) Toutes les articulations du mécanisme sont garnies de viroles de cuivre.

(10) Les tuyaux O, S, dans leur partie évasée, sont garnis de chemises en cuivre; l'engrenage $y_1 y_1'$ est du même métal.

Nota. Les joints et emboîtemens des pièces dont se compose la machine ont été, pour la plupart, dressés au tour; les cylindres sont alésés avec soin intérieurement. Les parties en fer et cuivre sont en outre polies à l'extérieur.

IIe TABLEAU.

II. COLONNE DE CHUTE.	FONTE.	FER.	CUIVRE.
	kil.	kil.	kil.
1° 31 tuyaux droits; 7 tuyaux courbes (1).	21440 4715	»	»
2° 3 joints compensateurs (2); la pièce O, avec les roudelles et vis de pression en cuivre, pour garniture	1665 195	»	73
3° Clapet à l'orifice de la prise d'eau, et son mécanisme	50	48	»
4° 344 boulons, 31 manchons en cuivre battu, pour les joints, et 2 robinets.	»	265	74 7
Totaux.	28065	313	154
Et pour les deux machines.	56130	626	308
Dépense totale 30.847 francs; somme des nombres partiels	28055	1252	1540

III. BALANCIER.	FONTE.	FER.	CUIVRE.
1° 8 tuyaux droits; 2 courbes; la pièce S_1.	6710 195	»	(3) 16
2° 58 boulons, 9 manchons pour les joints; 1 robinet.	»	45	22 5
Totaux.	6905	45	43
Pour les deux machines.	13810	90	86
Dépense totale 7515 fr.; somme des nombr.	6905	180	430

Suite du 2e tableau.

IV. PONT DE SUPPORT, (POUR LES DEUX MACHINES.)	FONTE.	FER.	CUIVRE
	kil.	kil.	kil.
1° Les flasques θ et les plateaux γ.	3022 2744	»	»
Les contre-fiches μ ν.	682	»	»
2° Les ferremens π; ν; ω ϖ, ω_2; ρ; λ λ'; κ; ζζ'	»	1279	»
Totaux.	6448	1276	»
Dép. tot. 5.492 fr. ; somme des nombres.	3,40	2252	»

V. ATTIRAILS (4).	FONTE.	FER.	CUIVRE
1° Attirail tout en fer ; cruchots d'arrêt.		16800 735	»
2° Attirail de tirans de bois armés de fer(5).	»	9220	»
Cruchots d'arrêt.	»	975	»
Total.	»	27730	27730
Dép. tot. 34.644 fr. à raison de 1,20 le kil.			

Annotations relatives au 2e tableau.

(1) Un des tuyaux courbes a été employé dans le trop plein à la couronne de la galerie d'écoulement.

Le diamètre intérieur de tous les tuyaux de la colonne est de 0m,38; l'épaisseur des parois est de 0m,027.

(2) Les joints compensateurs, les cloches ou parties évasées sont toutes alésées; les tuyaux entrans sont tournés dans le pourtour et au sommet de leurs bourrelets.

(3) La pièce S, est munie d'une roudelle avec vis en cuivre, pour le serrage de sa garniture de cuir.

(4) Les machines sont supposées placées à leur extrême limite, puisant l'eau du niveau de 230 mèt sous la galerie d'écoulement. Elles ne fonctionnent encore aujourd'hui que jusqu'au niveau de 174 mètres.

(5) On doit mentionner ici, pour mémoire seulement, le bois employé pour l'attirail; il y en a 15 mètres cubes qui sont compris, ainsi que la façon, dans le tableau n° IV.

IIIe TABLEAU.

VI. POMPE ÉLÉVATOIRE.	FONTE.	FER.	CUIVRE.
	k.	k.	k.
1° Le cylindre en bronze C (1).	»	»	1826
La boîte à cuir	326	»	(2) 9
2° La tige-piston P; avec la rondelle et les boulons de la garniture o; le piston d'air p.	»	8	735
3° La chapelle H avec ses soupapes.	1550	»	560
Les pièces L′, Ω; v en cuivre	1300	»	30
3° L'aspirateur A, A_2 A_3 avec les manchons	1346	»	6
d'assemblage; les tuyaux d'alimentation	»	»	27
et robinets u_1 u_2 u_1; la soupape W, le clapet $z z'$	»	4	9 / 26
5° 126 boulons pour les joints	»	119	
Totaux.	4522	131	3228
Pour les deux machines.	9044	262	6856
Dépense totale 41,848 f., somme des nombres.	(3)9044	492	32280

VII. SUPPORTS DE LA POMPE.	FONTE.	FER.	CUIVRE
1° Les plaques d'appui M N et leurs ancres de scellement	604	65	
Les plaques a, b, H Q, avec les boulons qui les relient aux estempes.	1775	88	
Les cales i, les 16 boulons $a'' a''$...; les étais J avec leurs coins de serrage . . .	346	76	
2° Les chaînes et armatures, composées des pièces x'; m, m'; $n n'$; $e e'$; t; X X′. . .	»	761	
Total pour les deux machines	(4)2725	990	
Dépense totale 3887 f., somme des nombres.	1907	1980	

VIII. COLONNE MONTANTE.	FONTE.	FER.	CUIVRE
1° Tuyaux droits de diverses épaisseurs, et tuyaux courbes Ω_1,... Ω_4	57654		»
2° Cinq compensateurs; la pièce Ω	3840	»	95
3° Boulons et manchons pour les joints . .	»	687	206
	61494	687	391
Et pour les deux machines	122988	1374	602
Dépense totale 67252 f., somme des nombres.	67643	2748	3010

Annotations relatives au III[e] Tableau.

(1) Le corps de pompe a $0^m,45$ de diamètre intérieur, et $0^m,04$ d'épaisseur.

(2) La boîte à cuir contient trois rondelles de cuivre concave et convexes, pour le maintien des garnitures de cuir demi-annulaires.

(3) La fonte est cotée à 100 fr. les 100 kil., en raison des façons de tournage, etc., qu'elle a reçues.

(4) La fonte a coûté 70 fr. pour les 100 kil.

IV[e] TABLEAU.

IX. OBJETS, MATÉRIAUX DIVERS, MAIN-D'ŒUVRE.	NOMBRE.	PRIX.	SOMMES.
	m. c.		
1° Bois de chêne employé pour l'installation de la machine, pour tirant, estempes, bassins, planches, etc.	86	60	5160
Plomb en saumons et laminé.	1749	0,42	734
Cordages, huile, peintures, clous, etc. . . .	»	»	3362
2° Main-d'œuvre pour le montage de tout l'appareil d'épuisement, éclairage, façon des bois, etc.	»	»	9466
3° Essais des tuyaux par la presse hydraulique, d'abord avec de l'eau, puis avec l'huile siccative.	»	»	2560
On compte que l'essai à l'huile coûte environ :			
11 fr. pour les tuyaux de $0^m,38$ } de diamètre. 7 fr. pour ceux de. . . $0^m,275$ }			
Total pour les deux machines. . .	»	»	21282

Vᵉ TABLEAU.

X. PERCEMENS SOUTERRAINS.	LONGUEURS.	PRIX.	SOMMES.
1° Galerie supérieure d'admission	370	18	6660
Puits d'airage et de service	27	69	1863
2° Puits ou cheminée de chute.	76	39	3964
3° Galerie d'écoulement	470	38,2	17954
Traverse pour l'airage et le service . . .	60	42	2520
4° Quelques frais accessoires.		»	531
Totaux.	1003		33492

Le mètre courant revient à 33f.39, savoir : { 22f.26 main-d'œuvre. 11f.13 consommation diverse pour étançonnage.

XI. MAÇONNERIE.	ENTAILLEMENT, BOISAGE.	MAÇONNERIE.	TOTAUX.
1° Galerie supérieure	6895	21771	28667
Accessoires : comme hangars, four à ciment, engins, outils.	»	»	2446
Totaux.	6895	21772	31113
2° Cheminée de chute : partie supérieure, muraillement complet.	2467	4610	7077
Partie médiane, simplement enduite . .	1519	371	1890
Partie inférienre, puisard, etc.	1745	3182	4927
Frais accessoires	»	»	82
Totaux	5731	8163	13976
3° Galerie d'écoulement :			
(a) son embonchure	1184	2276	3460
(b) parties muraillées vers son milieu .	4054	5740	9794
(c) aux abords du puits de chute. . . .	»	1276	1276
(d) frais accessoires, bâtardeaux, treuils à frein, outils divers, etc. . . .	»	»	1200
Totaux.	5238	9292	15730

Suite du 5ᵉ Tableau.

MAÇONNERIE (*Suite*).	ENTAILLEMENT, BOISAGE.	MAÇONNERIE.	TOTAUX.
4° Puits supérieur ;			
a partie au-dessous du plan de pose de la machine.	1239	3789	5028
b partie au-dessus du plan ; chambre de la machine.	1925	3547	5472
c couronnement de ladite chambre. . .	»	1735	1736
5° Galerie de communication avec le fond du puits de chute, y compris les frais de percement	1179	330	1509
6° Ouvrages et frais divers :			
Engin à l'orifice du puits. . . . 1284 / Cintres pour les voûtes. . . . 577 / Cordages, outils, tonnes, etc. . . . 1497	»	»	3358
Totaux.	4343	9401	17094

Je n'ai pas fait mention sur les états précédens de la réparation ou plutôt du renouvellement presque complet du boisage du puits supérieur. Ce travail, quoique fort dispendieux, ne doit en effet pas être imputé à la machine à colonne d'eau, parce que, dans tout état de choses, il était devenu indispensable pour la conservation de ce puits important, le seul qui pût se prêter à l'installation d'un système d'épuisement quelconque.

Des motifs analogues me décident à écarter du compte général des dépenses de la machine les ouvrages en maçonnerie exécutés dans la partie ancienne de la galerie d'écoulement, et notamment à son embouchure. Ces constructions destinées à remplacer le boisage, partout où il se

trouvait exposé aux chances d'un renouvellement fréquent, peuvent être considérées comme une sage mesure d'avenir, dictée par l'intérêt bien entendu de l'exploitation. A la rigueur, le prolongement de cette galerie sur 470 mètres, jusqu'au puits supérieur, se trouve dans le même cas; cet ouvrage en effet eût été, tôt ou tard, la conséquence inévitable des progrès des travaux vers le sud, c'est-à-dire sur des colonnes métallifères de plus en plus éloignées de l'embouchure de la galerie. Cela est si vrai, que je me propose de poursuivre celle-ci beaucoup plus loin encore, sur le filon, en avant même de ces colonnes, non-seulement comme recherche, mais aussi pour éconduire toutes les sources supérieures, qu'aujourd'hui l'on est contraint de laisser retomber jusqu'au *quatrième niveau*, ou 34 mètres trop bas.

D'un autre côté, ayant supposé, pour l'attirail et la colonne montante, que les machines fonctionnent à leur limite de 230 mètres, je dois faire figurer ici l'approfondissement sur environ 60 m. du puits supérieur et le percement d'une galerie de 200 mètres qui, partant du bas de ce puits, irait atteindre et dessécher les travaux d'exploitation. La dépense de ces deux ouvrages peut être évaluée à 12.000 fr.; elle concerne bien réellement le nouveau système d'épuisement.

En définitif, on peut résumer comme suit les frais d'établissement de ce système, qui se compose de trois parties distinctes:

1. Appareil moteur.	Machines complètes.	I. Machines seules. . . . . francs	67.390	103.729	203.937
		II. Colonnes de chute.	30.847		
		IV. Pont de support.	5.492		
	Dispositions accessoires. Pose.	X. Percemens souterr.; art. 1, 2, 4.	18.018	100.208	
		Ceux du fond du puits supérieur évalués à.	12.000		
		XI. Maçonneries; art. 1, 2, 3 (c), 4, 5, 6.	63.468		
		IX. (4e tableau.) Objets divers; partie évaluée à	11.722		
2. Attirails et leurs balanciers.		V. Attirail.	34.644		44.719
		III. Balancier.	7.515		
		IX. Objets divers, etc.; part. év. à	2.560		
3. Pompes élévatoires.		VI. Pompes, avec accessoires. . .	41.816		119.955
		VII. Supports des pompes.	3.887		
		VIII. Colonne montante.	67.252		
		IX. Objets divers, etc.; part. év. à	7.000		
				TOTAL. . . . francs	368.611

Ceci toutefois est plutôt un aperçu technique qu'un compte de deniers; car il manque diverses dépenses dont quelques-unes ont été omises à dessein, comme n'étant pas d'une application générale. Aussi, 1° je n'ai pas compris dans le tableau ci-dessus les frais de transport qui cependant, pour une masse de 260.000 kil. de matériaux métalliques dont se composent les machines, ont été très considérables, surtout en raison de notre excessif éloignement de tout centre industriel. Sur ces 260.000 kil., 40.000 au moins sont venus *par terre* de Paris, à raison de 25 francs le quintal; 2° il n'a rien été compté non plus pour frais généraux, voyages, expériences et recherches diverses, etc., qui forment aussi une somme assez forte, mais variable comme la précédente d'un lieu ou d'un cas particulier à un autre.

Il ne faut pas perdre de vue que cette dépense de 368.611 fr. s'applique à un mode d'épuisement totalement renouvelé et s'étendant à la profondeur considérable de 230 mètres sous la galerie d'écoulement, ou à 330 mètres du jour. Si l'on se rappelle d'ailleurs toutes les difficultés de la question,

et principalement l'énorme puissance à manier, la grande quantité d'eau à épuiser, l'acidité de cette dernière qui rend obligatoire l'emploi fort dispendieux d'une grande masse d'instrumens en cuivre, la nature perméable et ébouleuse du terrain dans la plus grande partie des percemens souterrains, etc., on ne trouvera plus le chiffre ci-dessus trop élevé. On comprendra mieux encore les avantages d'un tel sacrifice si, après avoir comparé le nouvel appareil avec l'ancien, ou avec d'autres du même genre, sous le rapport de l'effet utile et des frais d'établissement, on rapproche aussi les dépenses d'entretien des deux systèmes. Un relevé du travail de quatre ans a fait voir que la machine à colonne d'eau n'a coûté, année moyenne, que 4.300 fr. tout compris, surveillance et matières consommées. Cette somme peut être portée à 5.000 fr. pour les deux machines (le personnel qui à lui seul coûte 3.200 fr. restant le même); or, on a déjà dit que les anciennes machines coûtaient, dans le même temps, 40.000 fr.

Les machines à colonne d'eau ressortent donc de ces comparaisons avec tous les avantages qu'on leur attribue généralement. Il faut convenir cependant qu'élevées aux proportions de celles d'Huelgoat, elles ne seraient que d'un bien rare emploi, si, surtout, il fallait les établir toujours avec ce *luxe* de solidité auquel j'ai été forcé par les conditions de la question.

Je ne crois pas que, pour les puissantes machines et les hautes chutes, il soit possible d'arriver à une solution beaucoup plus simple que celle qui fait le sujet de cet écrit; mais je pense qu'il n'en est pas de même pour les appareils à petite force. Je suis surtout convaincu que les

faibles chutes sont aussi susceptibles d'être utilisées pour le même genre de machines, avec un grand avantage sur les roues à augets dans certains cas, particulièrement quand il s'agit de développer et transmettre un mouvement rectiligne alternatif(1). Il ne me paraît y avoir d'autre limite, en l'espèce, que celle à laquelle on peut atteindre dans l'exécution de cylindres d'un très grand diamètre.

Le même moteur deviendra plus utile encore et d'un usage plus fréquent, si l'on parvient à une combinaison simple de moyens, simples eux-mêmes, pour transformer en mouvement de rotation (2) celui de *va et vient* du piston principal.

---

(1) M. Baillet a le premier indiqué ce genre d'applications pour des machines soufflantes (voyez *Journal des Mines*, t. III), mais il n'a pas résolu la principale difficulté, celle d'un régulateur convenable.

Disons ici que Bélidor, dans son architecture hydraulique, t. II, liv. IV, a décrit un appareil qu'il a imaginé en 1737, puur élever l'eau d'une chute au-dessus d'une source et qui est une véritable machine à colonne d'eau, à cylindre horizontal. La priorité de l'invention de ce moteur revient donc plutôt à Bélidor qu'aux ingénieurs allemands Hoëll et Winterschmidt qui n'ont construit leurs machines que vers 1747.

La question particulière que Bélidor a traitée vient d'acquérir un haut degré d'intérêt, par suite de la multiplicité des forages des puits artésiens, dont quelques-uns offrent un volume d'eau et une force ascensionnelles considérables. Je ne doute pas que cette force ne puisse être utilisée pour élever une partie de la source à une hauteur plus ou moins considérable, au moyen d'une machine à colonne d'eau, dont le piston principal serait poussé directement par l'eau souterraine.

(2) Des machines à colonne d'eau de rotation n'ont encore été essayées qu'en deux localités. D'abord, dès 1817, à Vedrin, près Namur, où M. l'ingénieur Boüesnel a eu l'heureuse idée de tirer parti de l'eau qu'il était obligé d'é-

Souvent en effet on trouve dans les pays montagneux toutes facilités pour créer des chutes d'eau d'une grande hauteur, mais d'un volume trop peu considérable pour faire marcher des roues hydrauliques; du moins quand il s'agit de développer une grande puissance mécanique sur un emplacement unique et déterminé. Ce cas est précisément celui où les machines à colonne d'eau se présentent avec la plus incontestable supériorité.

Le succès de toutes ces applications dépend uniquement d'un bon système de régulation. Il en faut un particulier dans les machines à petites chutes et à mouvement lent, où les chocs et contre-coups ne sont pas à redouter. Un autre procédé, en remplacement des pistons cannelés, est nécessaire pour les machines à grandes vitesses, celles de rotation par exemple, surtout quand la chute est haute. Je me suis déjà occupé de ce double problème, dont je poursuivrai la solution avec d'autant plus d'ardeur qu'alors seulement mon travail d'Huelgoat pourra devenir fertile en heureuses conséquences pour l'industrie nationale, et que je pourrai me féliciter d'avoir le premier introduit en France l'usage des machines à colonne d'eau.

---

lever d'une grande profondeur, pour servir à l'injection dans une machine à feu. En retombant à la galerie d'écoulement, elle devenait force motrice pour mouvoir une machine d'extraction (voyez *Annales des Mines*, 1re série, t. IV, p. 59). Depuis, un ingénieur hongrois, M. Schitko, a fait un essai du même genre pour faire marcher un bocard. Mais ces deux solutions, la seconde surtout, me paraissent trop compliquées et susceptibles de grandes améliorations.

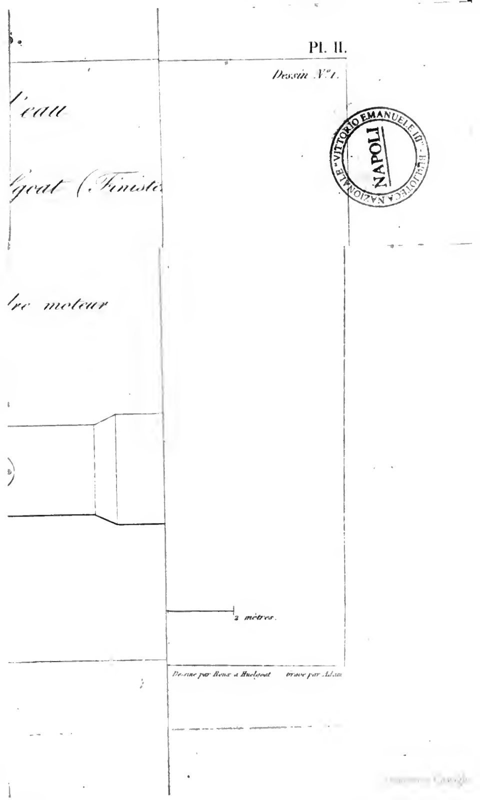
ERRATA.

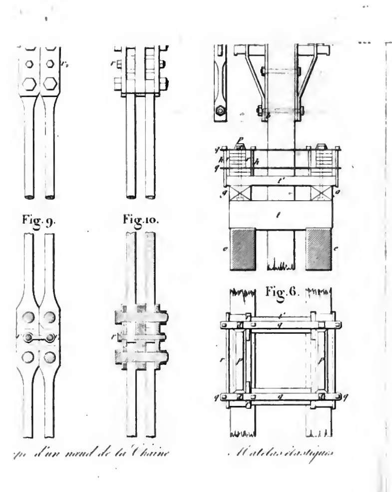
Page.	Ligne.	Au lieu de	Lisez
6	1	nivellement.	morcellement
id.	23	renseignement	enseignement
id.	32	renseignemens.	enseignemens
21 tabl.	1	Ferdinansberg . . . | m. | »	Ferdinandsberg. . . . | m.c. | »
	21	Schlossberg. | » | » | 12,85	Schlossberg. | » | » | »
	22	Rosenheim. | » | » | »	Rosenheim. | » | » | 12,85
id.	note (1)	mine de sel.	mine de sel. Roues à augets.
id.	notes (3) (4) (5) (8) (9) (10)	Réservoir... Roue... Machine.	Réservoirs... Roues... Machines
24	27—28	trouvait	trouve
35	2—3	$\frac{1,792}{5,5 \times 230} = 0^{m.q.},14$	$\frac{1,792}{5,5 \times 2,30} = 0^{m.q.},1417$
36	8	$0^{m.q.},14$	0,m.q. 1417
	27	$0,14 \times 2,30 \times 5,50 \times 230 = 407,10$	$0,1417 \times 2,30 \times 5,50 \times 230 = 412$
id.	30	0,646	0,653
37	4	0,646	0,653
40	17	0,646	0,653
47	19	$p\,p_1$, ...	$p\,p'$,
61	4	ici sur	sur
83	16	ceintrées.	centrées
103	30	inférieure.	supérieure
106	7	frottemens.	frottement
108	1	de mastic	du mastic.

NOTA.

Les quatre planches jointes à ce Mémoire sont désignées respectivement par les indications *dessin n. 1*, *dessin n. 2*, *dessin n. 3*, *dessin n. 4*, placées en dedans du cadre : on les a aussi désignées dans le courant de ce texte par les chiffres *I*, *II*, *III* et *IV*. On n'a point eu égard aux numéros d'ordre en chiffres romains placés en dehors du cadre, et qui se rapportent au rang qu'occupaient ces planches dans les livraisons du tome VIII des *Annales des Mines*, où elles ont été publiées pour la première fois.

FIN.


Pl. II.
Dessin N.º 1.
l'eau
lgoat (Finistè
bre moteur
2 mètres.
Dessiné par Renz à Huelgoat
Gravé par Adam



Echelles

pour les Fig. 1. 2. 3. 11 à 14.

1 2 3 4 5 6 7 8m

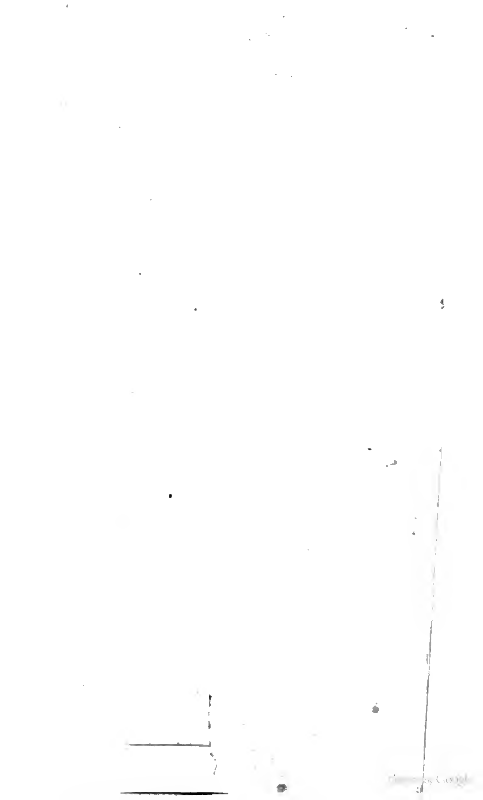
pour les Fig. 7 à 10

30 40 50 60 70 80 90 1 2m

pour les Fig. 4 à 8.

1 2 3 4m

Dessiné par Ad. B. ... Gravé par ...



PL. V.

Dessin N.º 3.

RES

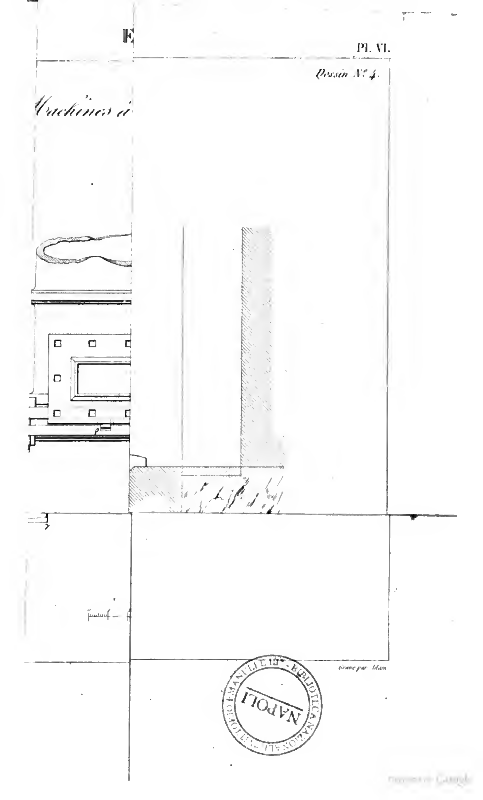
d'eau

Plan fig. 3.

D

S

Dessiné par Roux *Gravé par Adam*


E
Pl. VI.
Dessin N.º 4.
Machines à
Gravé par Adam

